

# Trabajo Fin de Grado

## Grado en Ingeniería Aeroespacial

### Modelado y recreación virtual con Catia v.5 del avión Polikarpov I-152 (i-15bis)

Autora: Irene Lozano Gallego

Tutor: Manuel Morato Moreno

**Dpto. Ingeniería Gráfica**  
**Escuela Técnica Superior de Ingeniería**  
**Universidad de Sevilla**

Sevilla, 2019





Trabajo Fin de Grado  
Grado en Ingeniería Aeroespacial

# **Modelado y recreación virtual con Catia v.5 del avión Polikarpov I-152 (i-15bis)**

Autora:

Irene Lozano Gallego

Tutor:

Manuel Morato Moreno

Profesor titular

Dpto. Ingeniería Gráfica  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla  
Sevilla, 2019





Proyecto Fin de Carrera: Modelado y recreación virtual con Catia v.5 del avión Polikarpov I-152 (i-15bis)

Autora: Irene Lozano Gallego

Tutor: Manuel Morato Moreno

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2019

El Secretario del Tribunal



*A mi familia*

*A mis maestros*



# Agradecimientos

---

Este trabajo supone el fin de una bonita y a la vez compleja etapa. Gracias a Manuel Morato Moreno, mi tutor, por su dedicación y consejos durante todo el desarrollo del trabajo.

Me gustaría agradecer a mi familia y amigos su apoyo constante durante estos años que ha hecho más llevadero el camino.

*Irene Lozano Gallego*

*Grado en Ingeniería Aeroespacial*

*Sevilla, 2019*



# Resumen

---

Este trabajo abarca el modelado y recreación virtual de uno de los últimos biplanos empleados en conflictos bélicos previos a la Segunda Guerra Mundial, el Polikarpov I-152. Su trasfondo histórico y desarrollo desde el prototipo hasta sus diferentes versiones lo convierten en una aeronave peculiar en este periodo.

En los distintos capítulos se detalla el proceso seguido comenzando por la recopilación de datos y planos de la aeronave original, continuando con el modelado paso a paso de los elementos más relevantes del caza. Por último, se concluye con el modelo final renderizado mediante CATIA.

# Abstract

---

This project encompasses the modeling and virtual recreation of one of the latest biplanes used in war conflicts before the Second World War, the Polikarpov I-152. Its historical background and development from prototype to final versions make this aircraft one of the most peculiar of its time period.

The different chapters cover the procedure followed on this project, beginning with the gathering of data and blueprints of the original aircraft and continuing with the step-by-step modeling of the fighter's most relevant parts. To conclude, the definitive rendered model by CATIA will be presented.



# Índice

---

<b>Agradecimientos</b>	<b>9</b>
<b>Resumen</b>	<b>11</b>
<b>Abstract</b>	<b>12</b>
<b>Índice</b>	<b>i</b>
<b>Índice de Tablas</b>	<b>ii</b>
<b>Índice de Figuras</b>	<b>iii</b>
<b>1 Introducción</b>	<b>1</b>
1.1 <i>Objetivos del trabajo</i>	1
<b>2 Estructura del Trabajo</b>	<b>3</b>
2.1 <i>Documentación e investigación inicial</i>	3
2.2 <i>Programas empleados en escalado y acotación</i>	4
2.3 <i>Modelado</i>	4
<b>3 Polikarpov I-15bis</b>	<b>5</b>
3.1 <i>Nikolai Nikolaevich Polikarpov</i>	5
3.2 <i>Contexto histórico</i>	5
3.3 <i>Características técnicas y documentación gráfica</i>	7
3.3.1 <i>Características técnicas</i>	7
3.3.2 <i>Variantes y experimentos</i>	10
3.3.3 <i>Documentación gráfica</i>	12
<b>4 Modelado</b>	<b>17</b>
4.1 <i>Alas</i>	17
4.1.1 <i>Ala superior</i>	18
4.1.2 <i>Ala inferior</i>	29
4.1.3 <i>Zona central superior</i>	37
4.2 <i>Cola</i>	43
4.2.1 <i>Estabilizador horizontal</i>	43
4.2.2 <i>Estabilizador vertical</i>	53
4.3 <i>Fuselaje</i>	62
4.3.1 <i>Body 1. Estructura</i>	62
4.3.2 <i>Body 2. Revestimiento</i>	69
4.3.3 <i>Body 3. Asiento del piloto</i>	77
4.4 <i>Tren de aterrizaje</i>	81
4.5 <i>Hélice</i>	82
<b>5 Resultado final</b>	<b>85</b>
<b>6 Conclusiones</b>	<b>91</b>
<b>Referencias</b>	<b>93</b>

# ÍNDICE DE TABLAS

---

Tabla 1 Especificaciones - Polikarpov I-152

9

# ÍNDICE DE FIGURAS

---

Figura 2-1 Polikarpov I-15bis	4
Figura 3-1 N.N. Polikarpov	5
Figura 3-2 I-15bis con la cruz de San Andrés	6
Figura 3-3 I-15bis en el aeródromo de Carcassonne	6
Figura 3-4 I-15bis de la Fuerza Aérea China	7
Figura 3-5 I-15bis del ejército finlandés	7
Figura 3-6 Evolución de las alas del modelo I-15 al I-152	8
Figura 3-7 Evolución del prototipo TsKB-3bis al I-152	9
Figura 3-8. Planos del I-15bis	10
Figura 3-9 Modelo I-152 DIT2	10
Figura 3-10 Modelo I-152 TK	11
Figura 3-11 Modelo I-152 DM	11
Figura 3-12 Prototipo TsKB-3ter	12
Figura 3-13 Modelo I-152 GK	12
Figura 3-14 Plano 1. Vistas generales	13
Figura 3-15 Plano 2. Perfil detallado del I-15bis	13
Figura 3-16 Ejemplo de acotación mediante AutoCAD	14
Figura 3-17 Operación Create an Immersive Sketch	14
Figura 3-18 Escalado mediante Sketch Tracer del plano 1	15
Figura 3-19 Ejemplo Sketchs realizados	15
Figura 4-1 Modelado final	17
Figura 4-2. GSD_PointSplineLoftFromExcel	18
Figura 4-3 Definición del perfil ClarkYH	19
Figura 4-4 Multi-Sections Solid del ala superior	19
Figura 4-5 Ilustración de la costilla del ala inferior	20
Figura 4-6 Ilustración del ala superior	20
Figura 4-7 Sketchs de vaciado de la primera costilla	21
Figura 4-8 Sketchs de vaciado de la última costilla	21
Figura 4-9 Erased Multi-Sections Solid sobre el ala superior	21
Figura 4-10 Acotación del espesor de las costillas	22
Figura 4-11 Rectangular Pattern asociado a Pocket	22
Figura 4-12 Distribución resultante de las costillas	22
Figura 4-13 Definición del sketch en la zona del alerón	23
Figura 4-14 Pocket asociado a la zona de los alerones	23

Figura 4-15 Resultado del Body 1: Costillas del ala superior	23
Figura 4-16 Definición de los largueros mediante Multi-Sections Solid	24
Figura 4-17 Definición de la unión entre el ala superior y la zona central	25
Figura 4-18 Sketchs de definición de los cordones	25
Figura 4-19 Rectangular Pattern aplicado sobre los cordones	26
Figura 4-20 Larguerillos del ala superior	26
Figura 4-21 Acotación del espesor del borde	27
Figura 4-22 Pockets de definición del borde del ala superior	27
Figura 4-23 Resultado del Body 3	27
Figura 4-24 Multi-Sections Surface del ala superior	28
Figura 4-25 ThickSurface sobre la superficie del ala superior	28
Figura 4-26 Resultado del modelado del ala superior	29
Figura 4-27 Ilustración del ala superior	29
Figura 4-28 Sketch sobre el plano de la forma en planta del ala inferior	30
Figura 4-29 Sketch obtenido de la forma en planta del ala inferior	30
Figura 4-30 Sketchs de las guías y perfiles aerodinámicos del ala inferior	31
Figura 4-31 Resultado Multi-Sections Solid del ala inferior	31
Figura 4-32 Sketchs de vaciado y guías del ala inferior	31
Figura 4-33 Vaciado y definición de las costillas del ala inferior	32
Figura 4-34 Detalle de las últimas costillas del ala inferior	32
Figura 4-35 Ejemplo de Multi-Sections Solid empleado en un larguero	33
Figura 4-36 Largueros modelados del ala inferior	33
Figura 4-37 Definición de los extremos de los largueros	33
Figura 4-38 Detalle Multi-Sections Solid	34
Figura 4-39 Pocket dedicado a la unión del ala inferior con el fuselaje	34
Figura 4-40 Definición de cordones y larguerillos del ala inferior	34
Figura 4-41 Evolución del modelado del borde en el ala inferior	35
Figura 4-42 Multi-Sections Surface del ala inferior	36
Figura 4-43 ThickSurface sobre el ala inferior	36
Figura 4-44 Resultado del ala inferior	36
Figura 4-45 Ilustración del ala inferior	37
Figura 4-46 Definición del sólido de la zona central	37
Figura 4-47 Definición de las costillas en la zona central	38
Figura 4-48 Mirror Definition en la zona central	38
Figura 4-49 Sketchs de vaciado dedicados a los largueros de la zona central	38
Figura 4-50 Sketchs de vaciado de la zona central	39
Figura 4-51 Resultado de los agujeros sobre las costillas de la zona central	39
Figura 4-52 Evolución del modelado de los perfiles en I de las costillas	39
Figura 4-53 Proyección de los agujeros de los largueros	40

Figura 4-54 Definición de los largueros de la zona central	40
Figura 4-55 Cordones en la zona central	41
Figura 4-56 Refuerzos trenzados de la zona central	41
Figura 4-57 Multi-Sections Surface Definition en la zona central	41
Figura 4-58 ThickSurface Definition sobre la superficie central	42
Figura 4-59 Resultado de la zona central	42
Figura 4-60 Ilustración de la zona central	42
Figura 4-61 Fotografía de la cola en vuelo	43
Figura 4-62 Ilustración de la cola	43
Figura 4-63 Acotaciones iniciales del estabilizador horizontal	43
Figura 4-64 Sketch inicial del estabilizador horizontal	43
Figura 4-65 Sketchs del estabilizador horizontal sobre el plano	44
Figura 4-66 Guías y secciones base del estabilizador horizontal	44
Figura 4-67 Multi-Sections Solid del estabilizador horizontal	45
Figura 4-68 Definición y distribución de las costillas	45
Figura 4-69 Definición de la sección en I de las costillas	46
Figura 4-70 Rectangular Pattern para la definición de las secciones	46
Figura 4-71 Removed Multi-Sections Solid dedicado al larguero 1	47
Figura 4-72 Agujeros sobre las costillas mediante Pocket	47
Figura 4-73 Agujeros sobre las costillas mediante Multi-Pocket	47
Figura 4-74 Removed Multi-Sections Solid dedicado a larguero 2	48
Figura 4-75 Definición del borde del estabilizador horizontal	48
Figura 4-76 Modelado de largueros	49
Figura 4-77 Ilustración del estabilizador horizontal	49
Figura 4-78 Agujeros sobre los largueros	49
Figura 4-79 Definición completa de los largueros	50
Figura 4-80 Ilustración del timón de profundidad	50
Figura 4-81 Extrusión del larguero	51
Figura 4-82 Resultado del Body 1 y 2	51
Figura 4-83 Ilustración del estabilizador horizontal	51
Figura 4-84 Definición de la superficie del estabilizador horizontal	52
Figura 4-85 Detalle del espesor del revestimiento	52
Figura 4-86 Mirror sobre el revestimiento	52
Figura 4-87 Resultado del revestimiento del estabilizador horizontal	53
Figura 4-88 Acotaciones iniciales del estabilizador vertical	53
Figura 4-89 Sketch inicial del estabilizador vertical	53
Figura 4-90 Sketch sobre el plano del estabilizador vertical	54
Figura 4-91 Perfil del estabilizador vertical	54
Figura 4-92 Definición de la superficie superior del estabilizador vertical	55

Figura 4-93 Definición de la superficie inferior del estabilizador vertical	55
Figura 4-94 ThickSurface sobre la superficie del estabilizador vertical	55
Figura 4-95 Fotografía de cola de una réplica del I-15	56
Figura 4-96 Ilustración del estabilizador vertical	56
Figura 4-97 Definición y distribución de las costillas	56
Figura 4-98 Ejemplo de Offset sobre el perímetro de la costilla	57
Figura 4-99 Detalle de los perfiles en I	57
Figura 4-100 Rectangular Pattern asociado a los perfiles en I	57
Figura 4-101 Distribución final de las costillas	58
Figura 4-102 Modelado del larguero principal	58
Figura 4-103 Multi-Pocket 1 sobre las costillas	59
Figura 4-104 Multi-Pocket 2 sobre las costillas	59
Figura 4-105 Definición del borde	60
Figura 4-106 Ilustración estabilizador vertical	60
Figura 4-107 Ilustración del timón de dirección	60
Figura 4-108 Multi-Sections Solid inicial dedicado a larguero	61
Figura 4-109 Multi-Sections Solid final dedicado a larguero	61
Figura 4-110 Multi-Sections Solid dedicado al larguero vertical	62
Figura 4-111 Perfil detallado de la estructura	63
Figura 4-112 Ilustración de la estructura del fuselaje	63
Figura 4-113 Captura de video sobre la construcción de una réplica	63
Figura 4-114 Posicionamiento y definición de planos y sketches principales	64
Figura 4-115 Rib de la primera cuaderna	64
Figura 4-116 Rib de la cuarta cuaderna	65
Figura 4-117 Resultado de las cuadernas	65
Figura 4-118 Definición de las guías superior e inferior	65
Figura 4-119 Detalle de Pad empleado	66
Figura 4-120 Definición de guías dedicadas a las diagonales	66
Figura 4-121 Detalle de Pad empleado en los refuerzos inferiores	66
Figura 4-122 Detalle de Rib empleado en la zona posterior	67
Figura 4-123 Detalle de Rib empleado en la zona frontal	67
Figura 4-124 Mirror sobre la estructura generada	68
Figura 4-125 Ilustración del fuselaje	68
Figura 4-126 Resultado de la estructura del fuselaje	68
Figura 4-127 Perfil de la estructura modelada sobre el plano escalado	69
Figura 4-128 Sketchs de los cortes del fuselaje empleados	69
Figura 4-129 Guías superior e inferior del fuselaje sobre el perfil	70
Figura 4-130 Guías laterales del fuselaje sobre la vista en planta	70
Figura 4-131 Split sobre las guías del fuselaje	71

Figura 4-132 Multi-Sections Surface asociado a la primera mitad del fuselaje	71
Figura 4-133 Multi-Sections Surface asociado a la segunda mitad del fuselaje	72
Figura 4-134 Multi-Sections Surface asociado a la zona central del fuselaje	72
Figura 4-135 ThickSurface sobre las superficies definidas	73
Figura 4-136 Revestimiento sobre el perfil original	73
Figura 4-137 Revestimiento sobre la vista en planta original	73
Figura 4-138 Revolution Surface sobre el capó	74
Figura 4-139 ThicknessSurface sobre el capó	74
Figura 4-140 Detalle de la geometría frontal	74
Figura 4-141 Sketch reducido sobre el plano del habitáculo del piloto	75
Figura 4-142 Sketch ampliado sobre el plano del habitáculo del piloto	75
Figura 4-143 Sketch del perímetro del cristal de la cabina	76
Figura 4-144 Proyección sobre el fuselaje del perímetro del cristal	76
Figura 4-145 Multi-Sections Surface del cristal de la cabina	76
Figura 4-146 Geometría final del cristal de la cabina	77
Figura 4-147 Perfil del asiento del piloto	77
Figura 4-148 Vista frontal del asiento del piloto	77
Figura 4-149 Pad del respaldo del piloto	78
Figura 4-150 Modelado del asiento	78
Figura 4-151 Multi-Sections Solid sobre la base del asiento	79
Figura 4-152 Ilustración de la cabina	79
Figura 4-153 Configuración de la cabina	80
Figura 4-154 Ilustración del panel de control	80
Figura 4-155 Modelado del panel de control	80
Figura 4-156 Guías del carenado del tren	81
Figura 4-157 Sweep aplicado al carenado del tren	81
Figura 4-158 Unión del tren al revestimiento del fuselaje	81
Figura 4-159 Comparación de la geometría obtenida con las ilustraciones de partida	82
Figura 4-160 Detalle de la hélice	82
Figura 4-161 Modelado de la primera pala	83
Figura 4-162 Obtención de la segunda pala mediante simetría	83
Figura 4-163 Detalle del buje en una fotografía	83
Figura 4-164 Bujes modelados	83
Figura 5-1 Planos del modelo Polikarpov I-152	85
Figura 5-2 Perfil del modelo sobre el plano	85
Figura 5-3 Alzado superior del modelo sobre el plano	86
Figura 5-4 Alzado inferior del modelo sobre el plano	86
Figura 5-5 Vista general del modelo Polikarpov I-152	86
Figura 5-6 Detalle del modelo Polikarpov I-152	87

Figura 5-7 Fotografía del Polikarpov I-152 en el hangar de Reus (España)	87
Figura 5-8 Modelo Polikarpov I-152 en hangar	87
Figura 5-9 Fotografía del Polikarpov I-152 en vuelo	88
Figura 5-10 Modelo Polikarpov I-152 en vuelo	88
Figura 5-11 Vista desde la cola del modelo Polikarpov I-152	88
Figura 5-12 Detalle del modelo Polikarpov I-152	89
Figura 5-13 Bill of Material	89
Figura 5-14 Superficie alar del modelo	89
Figura 5-15 Masa final del modelo	89



# 1 INTRODUCCIÓN

---

En este trabajo fin de grado se reconstruye la aeronave Polikarpov I-15bis mediante la utilización del Software CATIA V5R19 a partir de una exhaustiva búsqueda de sus planos. Este caza de origen soviético es una versión del Polikarpov I-15, apodado durante la Guerra Civil Española como el Chato debido a su geometría. Su pertenencia a la gama de aviones Polikarpov le sitúa dentro de una de las líneas de desarrollo de ingeniería aeronáutica más interesantes de la primera mitad del siglo XX.

Las réplicas de aeronaves y sus maquetas permiten materializar parte de la historia de la aviación. La recreación virtual de aviones, máquinas y estructuras, además de ofrecer la capacidad de visualizar y estudiar en detalle el objeto de una forma cómoda y eficaz, contribuyen a preservar sus diseños en formato digital 3D más acorde a nuestro tiempo.

## 1.1 Objetivos del trabajo

El contenido y estructura de este trabajo responde a los siguientes objetivos:

- Situar a la aeronave Polikarpov I-15bis en el convulso periodo histórico en el que se desarrolló, incluyendo una reseña biográfica de su reconocido creador Nikolai Nikolaevich Polikarpov.
- Recopilar las características técnicas de la aeronave, así como sus versiones más relevantes.
- Modelar mediante el software CATIAV5 los elementos más importantes que conforman el caza a partir de planos, ilustraciones y fotografías de la aeronave original.
- Comparar el resultado final obtenido tras el modelado renderizado con el modelo original.



## 2 ESTRUCTURA DEL TRABAJO

---

El trabajo consiste principalmente en la recreación virtual del caza I-15bis a partir de planos y documentos que aportan información veraz sobre la aeronave original. Por esta razón, la búsqueda de planos es uno de los pasos más importantes en el trabajo y se abarcará en el primer apartado. En segundo lugar, tras acotar y verificar las medidas más relevantes, se procede al modelado de la aeronave con CATIAV5R19. Finalmente se concluirá con una comparación entre el diseño final de la aeronave y la original a partir de los planos de partida y fotografías históricas.

### 2.1 Documentación e investigación inicial

El primer paso en este trabajo fue la elección de la aeronave a modelar. Se comenzó investigando aeronaves peculiares a lo largo de la historia fijando especial atención a modelos cuyos diseños resultaron innovadores respecto a su tiempo, sin embargo, la gran mayoría apenas consiguió perdurar. Durante este proceso de búsqueda la idea inicial pasó a un segundo plano y se consideró más importante el papel desempeñado por las aeronaves en la historia. La aviación contempló grandes avances en épocas de conflicto donde desempeñaron una importante función a nivel militar, por esta razón existen una amplia gama de cazas relevantes. La siguiente selección de aeronaves, cuyos planos recopilados durante la búsqueda pueden consultarse en el Anexo, fueron consideradas las más atractivas para proceder a su modelado:

- Polikarpov I-15bis
- HS-42
- Morane Saulnier
- Nieuport
- Polikarpov I-5
- Spad XIII

Finalmente, tras mostrar las propuestas al tutor, las aeronaves en las que se centró la decisión final fueron el Polikarpov I-15bis y HS-42. La aeronave soviética I-15bis fue la elección final ya que su carácter de biplano puro atrajo personalmente mi atención frente a la aeronave de Hispano Suiza. La decisión también estuvo influida por la relevancia de su creador, el ingeniero N.N. Polikarpov.



Figura 2-1 Polikarpov I-15bis

## 2.2 Programas empleados en escalado y acotación

Durante el proceso, la principal fuente de información han sido los documentos encontrados mediante internet. Al trabajar con documentos digitales, algunos de ellos fotografías y documentos escaneados, la elección de los planos ha de tratarse con especial cuidado para reducir dentro de lo posible los posibles errores que puedan arrastrar en las medidas dichos documentos. Por esta razón se trabajó a lo largo del diseño con dos planos que abarcan el alzado, planta (superior e inferior) y perfil de la aeronave. Para la acotación mediante ordenador de los planos se contrastaron en manuales, libros y revistas dos medidas relevantes para proceder con el escalado de la imagen, las medidas fueron la envergadura de 10.2m y el diámetro de la hélice de 2.8m. Gracias a la ayuda del tutor se realizó el escalado y las principales acotaciones que caracterizan al Polikarpov I-15bis mediante el software AutoCAD. Durante la primera mitad del modelado las medidas fueron tomadas empleando AutoCAD y en la segunda mitad, tras descubrir el módulo de Sketch Tracer, se utilizó CATIA. La familiaridad con dicho software y la posibilidad de trabajar de forma conjunta con los planos escalados y modelar al mismo tiempo que el módulo permite fueron la razón del cambio de técnica empleada para la comparación del modelo real y la recreación.

## 2.3 Modelado

Fundamentalmente el software empleado en este trabajo es CATIA como se mencionó anteriormente. La base técnica fue adquirida en la asignatura de “Diseño y Fabricación Asistidos por Ordenador” impartida en la Escuela Superior de Ingenieros de Sevilla. El módulo Part Design fue ampliamente utilizado en este trabajo al igual que en la asignatura, sin embargo, el trabajo con el módulo Generative Surface Design fue imprescindible para definir las diversas superficies que conforman la aeronave debido a la complejidad de geometrías que admite modelar, así como el módulo Sketch Tracer. Por esta razón este trabajo ha supuesto un interesante reto al permitirme profundizar, aprender y descubrir parte de las aplicaciones que ofrece este software.

## 3 POLIKARPOV I-15BIS

El Polikarpov I-15bis fue el resultado de la evolución del caza soviético Polikarpov I-15. Esta serie recibe su nombre por el apellido de su creador y su carácter luchador (I= Istrebitel =caza).

### 3.1 Nikolai Nikolaevich Polikarpov

Nikolai Nikolaevich Polikarpov fue un importante ingeniero aeronáutico soviético que diseñó algunos de los cazas más importantes en el periodo de entreguerras e inicios de la Segunda Guerra Mundial. Comenzó estudiando en el Seminario Eclesiástico de Oriol al ser el hijo de un cura ortodoxo, sin embargo, decidió ingresar en 1911 en la Universidad Politécnica de San Petersburgo donde estudió Aviación y Aeronáutica. Durante sus estudios realizó prácticas y trabajó con Igor Sikorski en la construcción del bombardero Ilya Muromets, el primer bombardero estratégico cuatrimotor que fue empleado en la Primera Guerra Mundial.

En su carrera profesional fue enlazando proyectos de alto nivel, la asignación de dos proyectos de dos aeronaves de Andrei Tupolev para la URSS marcó un punto de inflexión en su carrera. Dicho proyecto no cumplió las fechas establecidas por el régimen y este hecho fue considerado sabotaje lo que conllevó su arresto por la OGPU en 1929. Su condena inicial fue la pena de muerte que fue sustituida por 10 años de trabajos forzados. En 1931 se realizaron pruebas de vuelo de uno de sus prototipos del I-5 que mostraron su potencial. Ese mismo año, su pena fue finalmente conmutada debido a su trayectoria y en gran medida por su futura implicación en la mejora del prototipo. El biplano I-5 fue el antecesor del I-15, modelo original del que surge el Polikarpov I-15bis objeto de este trabajo. Por toda su trayectoria donde destacan sus diseños de aviones de combate obtuvo el apodo de “Rey de los cazas”.

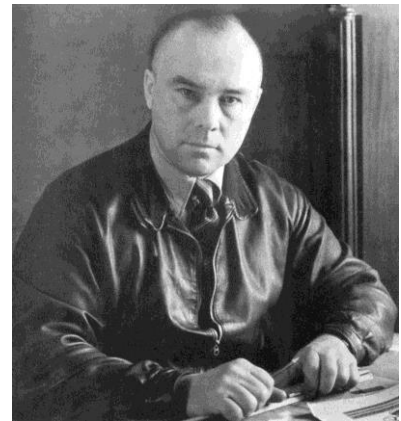


Figura 3-1 N.N. Polikarpov

No se puede finalizar este breve resumen de su trayectoria sin nombrar algunas de sus contribuciones más relevantes en aeronáutica. Entre las que destacan: el procedimiento de cálculo de fuerzas en aeronaves, el procedimiento de cálculo de estabilidad estática longitudinal en una aeronave (1924-1926), investigaciones sobre el comportamiento y las propiedades de aviones en barrena (1925-1929) y la primera producción en la URSS de duraluminio y su aplicación en elementos básicos (1923-1926). Además, desarrolló cañones síncronos y sistemas de armamento que permitían disparar a través de un eje hueco con ametralladoras, el diseño de un avión tipo U-2 para entrenamiento y la estructura monocasco. Destaca su aportación en el empleo del tren de aterrizaje retráctil para aviones de combate monoplanos y biplanos, así como en el desarrollo de aviones con elevado techo de vuelo y la futura incorporación de cabinas presurizadas en aviones (Ivanov 2017).

### 3.2 Contexto histórico

Adentrarse en la historia del Polikarpov I-15bis implica conocer el tiempo y los ritmos en los que se desarrolló la aeronave, para ello nos remontamos a los años 30 en la Unión Soviética. En este periodo los soviéticos se centraron en diseñar aviones veloces y maniobrables, N.N. Polikarpov tras diseñar su biplano I-5 se propuso mejorar sus actuaciones y diseñar un nuevo modelo que cumpliera las nuevas necesidades. La aeronave diseñada fue el I-15 cuyo primer prototipo TsKB-3 se construyó en Octubre de 1933. Los pilotos e ingenieros soviéticos dieron luz verde al diseño por su buena respuesta en las pruebas de vuelo realizadas ese mismo año. Cumplía la maniobrabilidad perseguida pudiendo realizar maniobras de 360 grados en 8 segundos, batiendo el

récord hasta la fecha y conseguía alcanzar 5000m en 6.2 minutos, todo apuntaba hacia un futuro prometedor para la aeronave. Su producción en serie tuvo lugar a inicios de 1934, en ella se empleó el motor M-22 hasta que comenzó a producirse ese mismo verano el modelo M-25 con mejores prestaciones. El planteamiento de un nuevo modelo o versión surgió a raíz de la mala acogida que tuvo la disposición de las alas por parte de los pilotos. Aseguraban que en el despegue y aterrizaje la visibilidad no era adecuada debido a las alas lo que, entre otras razones, condujo al cese de su producción en 1935. A pesar de ello el I-15 jugó un importante rol en la Fuerza Aérea Republicana Española (FARE) por su versatilidad y su capacidad acrobática ya que solo el Fiat CR-32, ME-109, He-112 y Fiat G-50 podían superarle. En España, un total de 368 unidades de los apodados Chatos se unieron a las filas de las FARE, entre ellos 237 fueron construidos en España a partir de componentes recibidos de Rusia y el resto fueron recibidos de forma íntegra (LARRAZABAL, JS 2010).

Con objeto de corregir el defecto de visibilidad que muchos pilotos soviéticos destacaban, N.N. Polikarpov planteó una nueva zona central que convertiría al biplano I-15 en un biplano puro, la nueva versión se nombró I-15bis o I-152. En Otoño de 1937 comienza la producción en serie del I-15bis de la que destacan entre sus modificaciones el motor empleado M-25V de mayor potencia con sus 750Hp, la mejora de visibilidad y aerodinámica, el refuerzo del fuselaje y el aumento de la capacidad de combustible de 260l a 310l. Otra de sus nuevas aplicaciones era la capacidad de acoplar bajo sus alas depósitos extra de combustible o 2 bombas de 50kg cada una.

A finales de 1938, los soviéticos enviaron al ejército republicano español 93 ejemplares a través de Francia aunque solo 30 aeronaves llegaron a su destino. La llegada de las 1ª, 3ª y 4ª Escuadrilla fue muy tardía en enero de 1939, época en la que las tropas franquistas ya avanzaban de forma imparable (LARRAZABAL, JS 2011). De los 30 solo 21 superaron el mes, uno sufrió un accidente de la mano de un piloto novato y ocho fueron derribados en una misión por la artillería antiaérea ligera. En la caída de Cataluña sobre el 5 de febrero, los Super Chatos supervivientes reciben la orden de trasladar todos los efectivos en vuelo a Francia bajo el mando de Emilio Galera Macías. Allí terminan aterrizando en Carcassonne donde los pilotos fueron detenidos y las aeronaves custodiadas en el aeródromo Franczabal de Toulouse donde posteriormente fueron entregadas por el bando franquista tras el Acuerdo Bérard-Jordana. Tras el colapso de las FARE gran parte del material militar republicano pasó a formar parte del franquista. Los Polikarpovs por tanto, fueron repintados acorde al nuevo bando eliminando la bandera republicana de la cola y sustituyéndola por la cruz de San Andrés. Fueron un total de 20 unidades que se encuadraron en el Grupo 24 de Caza en Manises. Los últimos modelos fueron dados de baja en noviembre 1954 (TORN ROCA, J. 2002) (ADAR 1939).

La participación del I-15bis en la Guerra Civil Española fue breve y prácticamente irrelevante en comparación con sus predecesores I-15 (Chato) y I-16 (Mosca). Su papel fue más importante en batallas fuera de nuestro país e independientes de la Guerra Civil Española. El caza soviético apoyó en 1937 al ejército Chino para luchar en contra de las fuerzas japonesas, mostró superioridad frente a los Kawasaki Ki-10 parte del frente japonés. La inferioridad aérea de los Ki-10 frente a los I-15bis trató de corregirse reemplazando los cazas por otro más veloz, el Mitsubishi A5M2a. A pesar de ello, la maniobrabilidad del I-15bis convirtió al caza en un



Figura 3-3 I-15bis en el aeródromo de Carcassonne



Figura 3-2 I-15bis con la cruz de San Andrés

buen adversario a pesar de ser más antiguo en el que se dice que las capacidades y tácticas de los pilotos eran clave en batalla. Los escuadrones de I-15bis fueron sustituidos en su gran mayoría por I-16s en 1939 por decisión de las Fuerzas Aéreas Soviéticas, pese a ello, 186 unidades de I-15bis continuaron en activo dentro de la Fuerza Aérea China. Ese mismo año, en el verano de 1939, el biplano luchó también en la batalla entre soviéticos junto a los mongoles contra los japoneses conocida como la Batalla de Khalkhin-Go por los primeros y como el incidente de Nomonhan según los nipones. Aunque la victoria fue soviética y el I-15bis luchó bien contra los Mitsubishi A5M2a, se comprobó que la aeronave era claramente inferior a otras aeronaves como Nakajima Ki-27. Tras esta lucha el caza biplano fue alejado de las filas de combate y relegado a patrullas nocturnas y de reconocimiento. A pesar de retirarse activamente en batallas un dato curioso fue el empleo de la reconocida inferioridad del I-15bis como ventaja frente a sus oponentes. Tras desarrollarse la versión mejorada I-153 con tren retráctil, los pilotos engañaron a sus oponentes extendiendo el tren de aterrizaje tratando de mostrar una capacidad inferior para posteriormente atacar (STAPFER, H., 1995).



Figura 3-4 I-15bis de la Fuerza Aérea China

A finales de ese mismo año, en noviembre de 1939, Stalin ordenó la invasión de Finlandia donde también participó el I-15bis. El modelo fue provisto de un tren de aterrizaje con ski para adaptarse al terreno nevado. En dicha batalla conocida como Batalla de Invierno, pese a que la fuerza aérea finlandesa contaba tan solo con 114 cazas frente a la gran flota soviética, éstas consiguieron derribar 200 cazas durante el conflicto con unas bajas de tan solo 62 aeronaves. Los finlandeses contaban por entonces con el Fokker D.XXI superior a nuestra aeronave en cuestión. La batalla terminó en marzo del año siguiente (1940) con muchas bajas por parte del ejército soviético, además cinco I-15bis fueron captados y reutilizados por los finlandeses. El resto tras la guerra se emplearon como aviones de entrenamiento para novatos. Los primeros I-15bis que pasaron a las filas finlandesas se nombraron como VH-10 y VH-11 y los tres restantes como VH-3, VH-4 y VH-5. En 1940 se renombraron los VH-10 y VH-11 como VH-1 y VH-2, sin embargo la flota completa se renombró de nuevo en 1942 empleando los numeración IH-1 hasta IH-5. Entre ellos destaca el I-15bis VH-4 ya que tras picar en al menos tres ocasiones, se reparó y alcanzó las 144 horas de vuelo operativo superior a cualquier aeronave finlandesa (KINVILLE, 2018).



Figura 3-5 I-15bis del ejército finlandés

Posteriormente a la batalla con Finlandia, la URSS fue atacada por los alemanes en junio de 1941. El ataque sorpresa acabó con 1489 aeronaves, muchas de ellas Polikarpovs aparcados sobre tierra. El ataque conocido como la Operación Barbarroja consiguió frenar la Fuerza Aérea Soviética en Lituania, Ucrania y Polonia.

### 3.3 Características técnicas y documentación gráfica

#### 3.3.1 Características técnicas

En el apartado anterior se nombraron algunas de las mejoras y características principales del modelo I-15bis, en este apartado serán desarrolladas con mayor nivel de detalle (STAPFER, H., 1995).

La configuración alar es la diferencia más evidente entre el modelo I-15 y el I-15bis, ver Fig. 3-6.

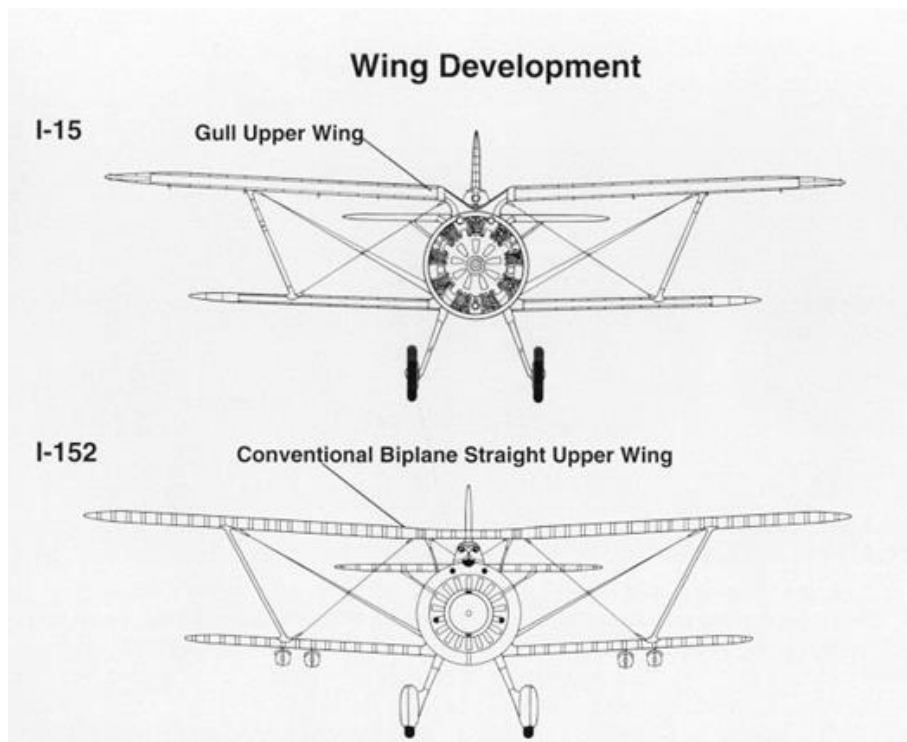


Figura 3-6 Evolución de las alas del modelo I-15 al I-152

En la figura 3-6 además de apreciarse el cambio de configuración alar se observa el acoplamiento de un par de bombas en la zona inferior de cada ala inferior que ofrece el modelo. El prototipo del I-152 fue el TsKB-3bis, algunas de las diferencias entre el prototipo y el diseño “final” se incluyen en la siguiente lista y se marcan en la figura.

- El prototipo estaba provisto de una mira tipo PAK-1 y el I-152 con una OP-1 al igual que el I-15.
- El carenado del I-152 estaba provisto de aperturas del circuito de refrigeración ajustables.
- El parabrisas se redondeó para facilitar su producción en masa.
- El espejo retrovisor colocado en el ala superior en la zona de estribor se eliminó en el modelo final al igual que la ventana lateral de la cabina del piloto.
- El prototipo contaba con una antena de radio situada en el ala superior mientras que en la mayoría de I-152 se instaló en la cola.



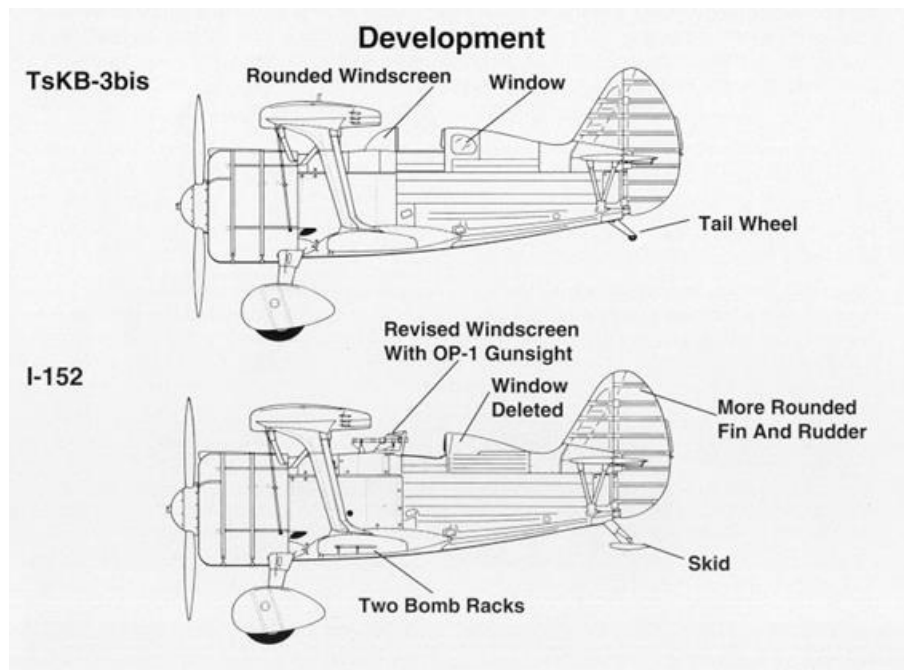


Figura 3-7 Evolución del prototipo TsKB-3bis al I-152

Las especificaciones técnicas más destacadas en la mayoría de los manuales se reúnen en la imagen siguiente extraída del libro comentado anteriormente, para facilitar su lectura en la siguiente tabla se incluye la traducción del contenido:

Tabla 1 Especificaciones - Polikarpov I-152

Especificaciones - Polikarpov I-152	
Envergadura	33 pies y 5.5 pulgadas (10.2m)
Longitud	20 pies y 7 pulgadas (6.24m)
Altura	9 pies y 8 pulgadas (3m)
Peso en vacío	2888 libras (1310 kg)
Peso máximo	4044 libras (1834 kg)
Planta motora	Un Shvetsov M-25V con motor radial enfriado por aire, 775 HP
Armamento	Cuatro ametralladoras de 7.62mm
Velocidad	226 millas por hora (363.7 km/h)
Techo de vuelo	31165 pies (9499m)
Tripulación	Uno

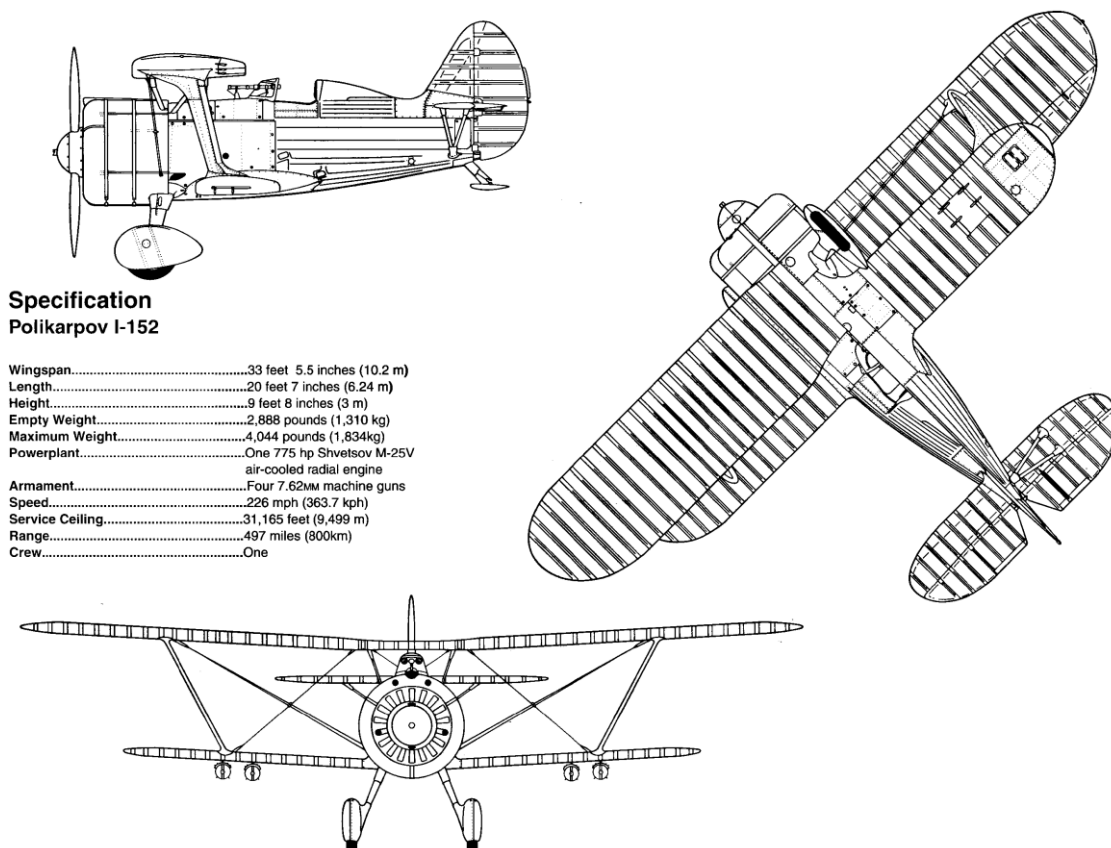


Figura 3-8. Planos del I-15bis

### 3.3.2 Variantes y experimentos

El modelo original del I-152 también estuvo sometido a modificaciones y experimentos, la mayoría de ellos no fueron empleados en combate, pero tuvieron un importante papel a nivel ingenieril. Entre las variaciones encontramos el I-152 TK, I-152 DM, I-152 DIT-2, el prototipo TsKB-3ter del I-153 y el I-152 GK (Ugolok Neba, 2018).

- I-152 DIT2. Aunque no fue comercializado en 1937 se produjeron dos cuyas iniciales indican “Dos asientos de entrenamiento” (Dvukhmestny Istrebitel Trenirovochny en ruso). El área disponible se vio reducida tras incorporar el segundo asiento y el depósito de combustible se redujo a su vez. El motor disponible por entonces era el M-25A menos potente al realmente utilizado por el original y su techo de vuelo se vio reducido al igual que su armamento.



Figura 3-9 Modelo I-152 DIT2

- I-152 TK. En 1939 se crea este modelo que se caracteriza por el uso de 2 turbocompresores TK-3. Se consiguió el objetivo de aumentar el techo de vuelo del avión, además del aumento de velocidad debido a la alta potencia de los motores. Sin embargo, estas mejoras no fueron suficientes para compensar el aumento de 140kg de peso.



Figura 3-10 Modelo I-152 TK

- I-152 DM. Sus siglas “DM” indican el uso de motores auxiliares (Dopolnitelny Motor en ruso), en concreto dos ramjets bajo sus alas inferiores. Fue el primer avión de la URSS en el que fueron instalados ramjets. Los motores fueron desarrollados por Igor A. Merkulov y fueron probados en vuelo en junio de 1940. Mejoraron la velocidad máxima en 22km/h pero oponían una resistencia tal que la velocidad de la aeronave se veía disminuida en el momento que no se utilizaban.

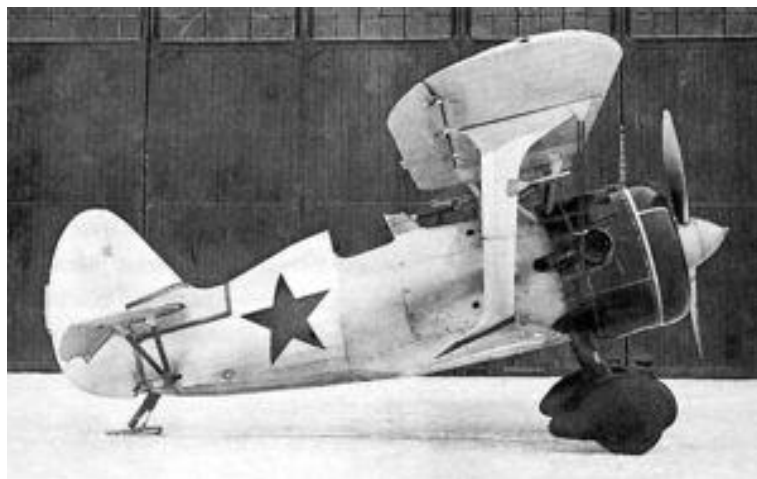


Figura 3-11 Modelo I-152 DM

- TsKB-3ter. Es el prototipo del próximo modelo en la gama de Polikarpovs, mejoró las capacidades de los I-15 y I-15bis. Recuperaba la disposición de las alas del Chato, empleaba el mismo perfil alar que el I-15bis y reforzó su estructura. Su característica más destacable fue la implementación de un tren de aterrizaje retráctil.

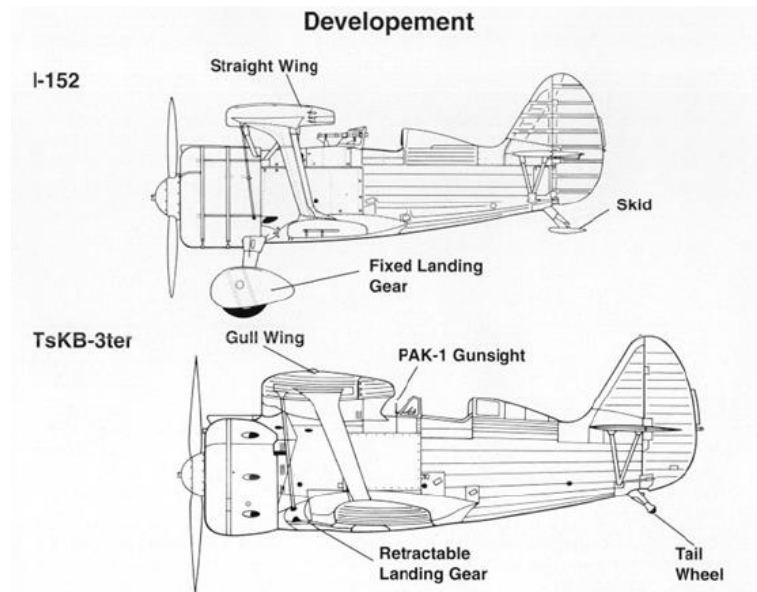


Figura 3-12 Prototipo TsKB-3ter

- I-152 GK. Los modelos I-15 y I-15bis fueron los primeros aviones de la URSS en los que se incorporó la cabina presurizada. Este modelo fue desarrollado en Podloki (Polonia) de la mano de Alexei Yakovlevich Scherbakoven. El modelo aumentó el peso de la aeronave en torno a los 75kg y realizó sus primeras pruebas de vuelo en 1939. Tuvo relevancia a nivel experimental, debido al bajo techo de vuelo asumible por la aeronave no se consideró razonable su implementación en el I-15bis.



Figura 3-13 Modelo I-152 GK

### 3.3.3 Documentación gráfica

Los planos base sobre los que se han centrado las mediciones en este trabajo son dos, como se comentó en el apartado 2.3 “Programas empleados en escalado y acotación”. Dichos planos son los siguientes (MASLOV, M., 2013) (Fig. 3-14 y 3-15):

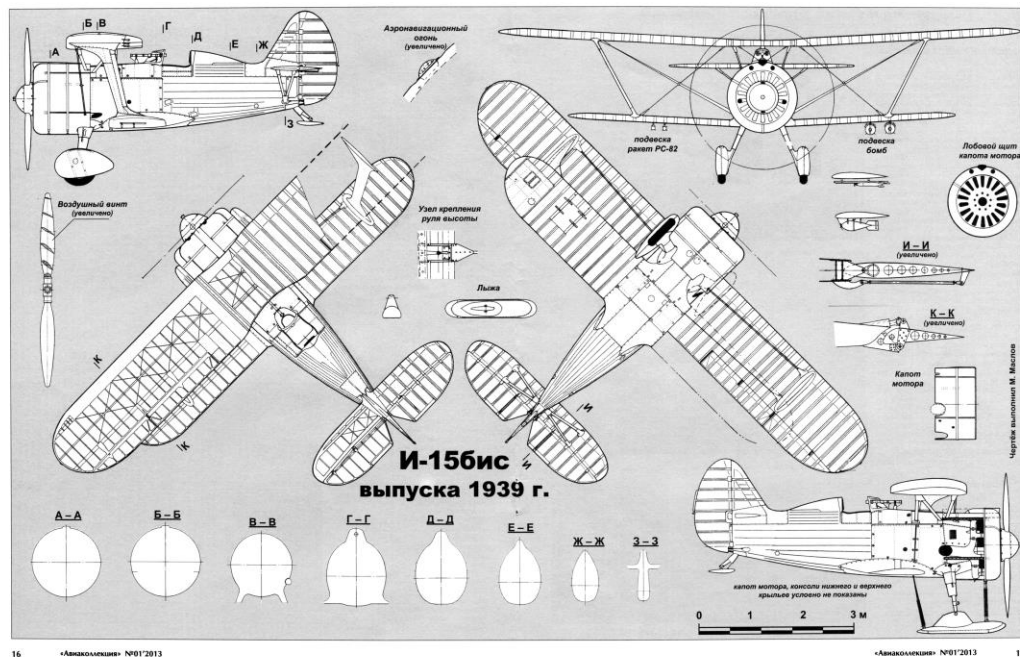


Figura 3-14 Plano 1. Vistas generales

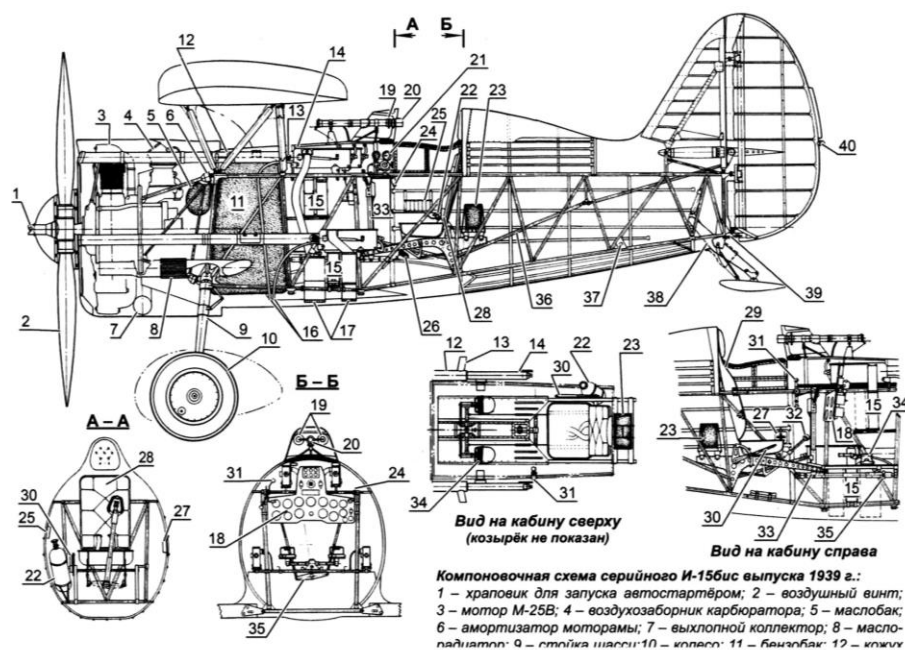


Figura 3-15 Plano 2. Perfil detallado del I-15bis

Para enfocar el modelado fueron cruciales los dos manuales originales encontrados de descripción técnica de la aeronave editados por el ministerio de defensa de la URSS en 1938 (MINOBORON, NARKOMATA OBORONT SSSR, 1938). En él se reúnen ilustraciones de la estructura y los componentes más relevantes de la aeronave que fueron de especial utilidad en el diseño. Al ser un documento original escaneado, la principal barrera fue el idioma. Pese a las herramientas de traducción disponibles hoy en día la traducción resultó muy compleja por pertenecer al ámbito específico de la aeronáutica. La historia y características de esta aeronave han sido reflejadas y recopiladas en numerosos libros, revistas y artículos por destacados historiadores, entre ellos destacan las publicaciones de Mikhail Maslov. El autor es un ingeniero aeronáutico que trabaja en N.E. Zhukovsky Memorial House and Museum y ha escrito numerosas publicaciones y libros especializados en la aviación soviética y en concreto sobre los cazas Polikarpovs (MASLOV, M., 2001, 2003, 2004).



### 3.3.3.1 AutoCAD

Mediante AutoCAD se realiza con la ayuda del tutor el escalado de los planos obteniendo las medidas clave sobre las que se basarán los primeros modelados. El primer plano es especialmente útil al reunir 4 vistas completas del caza que muestran tanto la geometría externa del mismo como algunas zonas internas de la estructura alar. La segunda ilustración muestra en detalle un perfil donde puede apreciarse la estructura interna del fuselaje, las medidas tomadas de la misma así como la distribución de los elementos que muestra será de especial utilidad en el modelado del fuselaje. La siguiente imagen muestra cómo se obtuvieron algunas de las cotas en el primer plano:

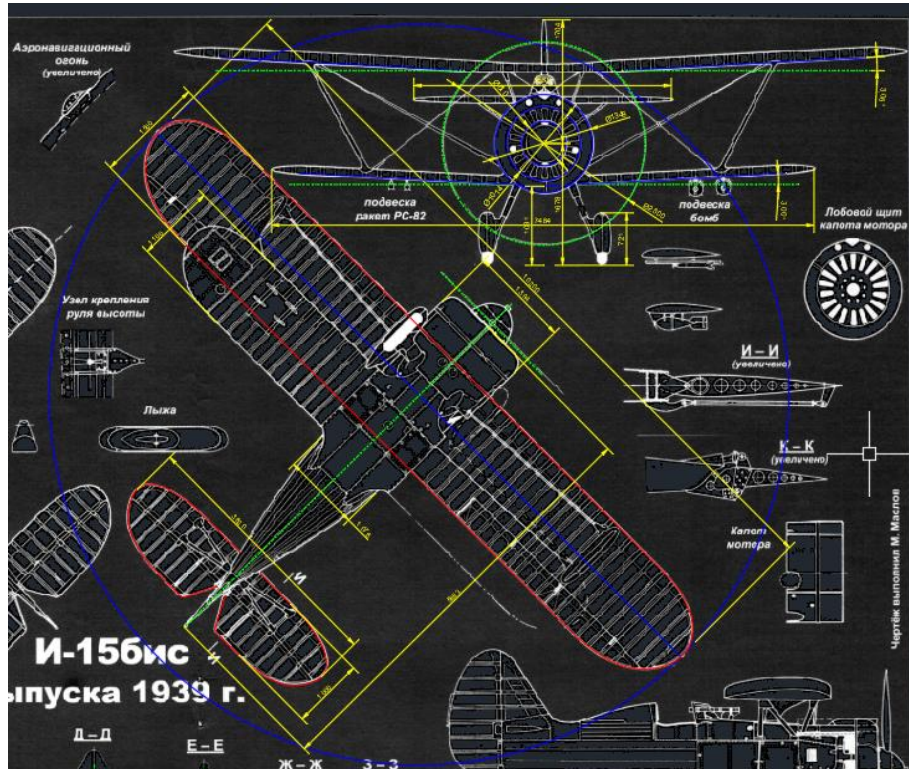


Figura 3-16 Ejemplo de acotación mediante AutoCAD

### 3.3.3.2 CATIA V5

CATIA V5 (Computer Aided Three dimensional Interactive Application) es un software empleado especialmente en la industria aeronáutica que con una amplia gama de módulos permite abarcar el desarrollo de un producto desde su diseño hasta su análisis. El modelado se realizará mediante el software pero éste también será empleado para el tratamiento de los planos.

Dentro del módulo Shape se encuentra Sketch Tracer, esta herramienta permite el escalado de imágenes y se ha empleado en este trabajo para realizar acotaciones y guías de los elementos que forman la aeronave. Aunque dicha herramienta se puede emplear de forma intensiva para generar figuras 3D a partir de planos, en este trabajo su papel ha sido esencialmente el de proporcionar las geometrías que se emplearán como guías en la generación de superficies mediante el uso de multisecciones con el objetivo de que el modelado ocupe el protagonismo del trabajo.

El primer paso para realizar el escalado es introducir la imagen en CATIA mediante la herramienta “Create an Immersive Sketch”. Tras seleccionar la imagen aparecen una ventana y unos ejes mediante los cuales se realizará el escalado. Seleccionando la vista “Front View” se asigna la orientación que tendrá el nuevo sistema de referencia respecto a la foto añadida. Seguidamente

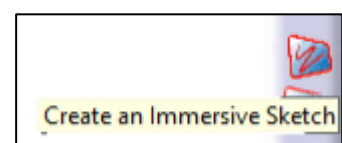


Figura 3-17 Operación Create an Immersive Sketch

se adaptan los ejes y la extensión de las respectivas flechas que incluyen a la medida del elemento con el que escalaremos la imagen. En nuestro caso la medida será la envergadura de 10.2m y su cuerda de 1.5m, siendo el error en la medición de la cuerda de 0.04mm, ver Fig 3-18.



Figura 3-18 Escalado mediante Sketch Tracer del plano 1

Una vez escalada la imagen se añade al Product un CATPart donde se realizarán los sketches sobre el plano. En la siguiente imagen se muestra el árbol de modelado junto al resultado de los sketches realizados mediante splines para obtener la forma del fuselaje.



Figura 3-19 Ejemplo Sketchs realizados





# 4 MODELADO

En este capítulo se desarrolla paso a paso el procedimiento seguido en el modelado del Polikarpov I-15bis. Para abarcar el diseño de la aeronave, cada una de las partes que la conforman ha sido modelada en Catparts diferentes. Cada apartado en los que se divide este capítulo mostrará el proceso de modelado de dichas partes, siendo éstas: las alas, el fuselaje, el estabilizador horizontal, el estabilizador vertical, el tren de aterrizaje y la hélice.

Antes de profundizar en el desarrollo de cada una de las secciones, se ofrece a continuación una imagen del resultado final sin renderizar para así conocer la ubicación de las partes en el modelo completo (Fig. 4-1).

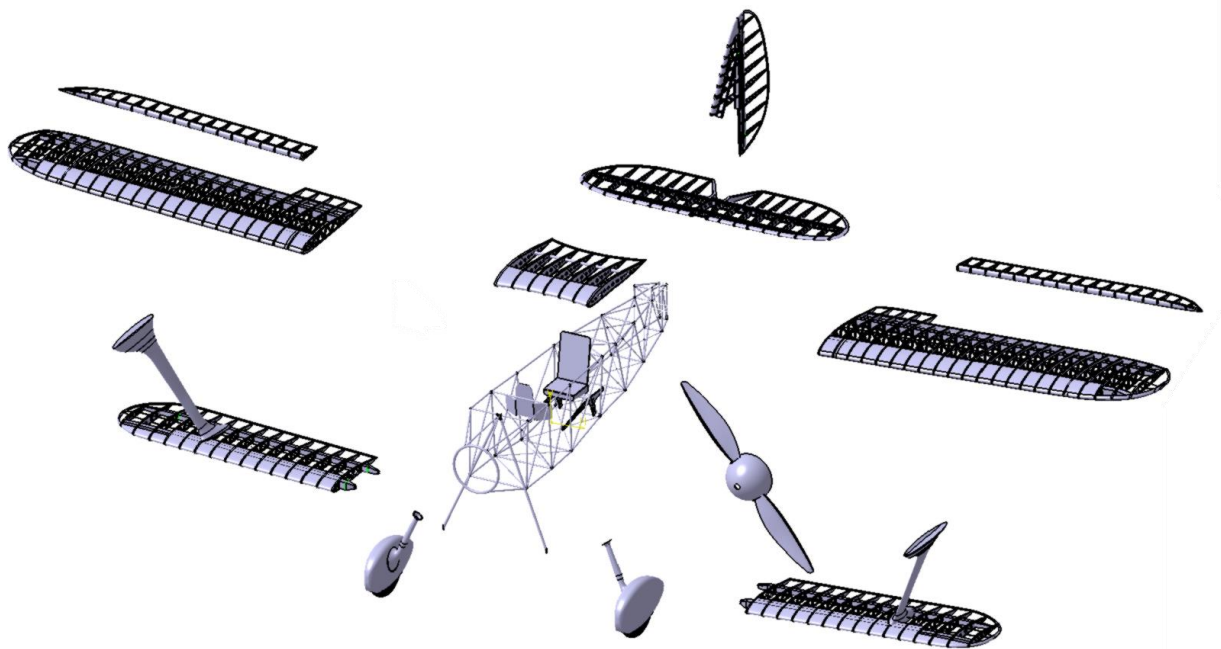


Figura 4-1 Modelado final

## 4.1 Alas

En este apartado se desarrolla el procedimiento empleado en la construcción de las alas.

Durante la Primera Guerra Mundial la mayoría de aeronaves empleadas fueron biplanos, posteriormente se produjo un auge en el diseño y uso de monoplanos ya que ofrecían menor resistencia y conseguían volar a mayor velocidad. Algunos de los biplanos que convivieron con los monoplanos próximos a la Segunda Guerra Mundial fueron: los soviéticos Polikarpov I-15, I-152, I-153, los italianos Fiat CR.30, CR.32, CR.42 y el japonés Kawasaki Ki-10. En concreto, los biplanos soviéticos destacaron por su gran maniobrabilidad.

El biplano, como su propio nombre indica, consta de un ala superior y una inferior unidas entre tirantes de sujeción. Ambas alas poseen un diedro positivo de 3 grados y una forma recta a lo largo del 70% de sus envergaduras y semielípticas hasta sus extremos. La envergadura del ala superior es mayor a la del ala inferior, siendo éstas de 10.2 m y 7.5 m respectivamente. Las costillas que las componen se fabricaron con madera de pino, en otros elementos se empleó duraluminio. La unión entre las alas se realiza con posterioridad al modelado de cada una de ellas y será expuesta en último lugar.

El procedimiento aplicado en sus modelados es similar y se puede resumir en los siguientes pasos:

- Definición de la forma en planta de cada una de las alas a partir de los planos base mediante sketches partiendo de acotaciones de los planos en AutoCAD y/o Sketch Tracer (Catia).

- Definición y escalado del perfil aerodinámico Clark YH empleado en el Polikarpov I-15bis
- Definición de Bodies diferentes que abarcarán las operaciones correspondientes a las costillas, largueros, larguerillos, revestimiento y uniones entre elementos.

#### 4.1.1 Ala superior

El ala superior posee una envergadura de 10.2 m de longitud, una cuerda en su sección recta de 1.5 m y un diedro positivo de 3 grados. Como se comentó en la introducción de este capítulo, en el modelado se utilizan diferentes Bodies para diseñar los distintos elementos que conforman el ala. Los Bodies empleados en el modelado del ala superior se estructuran de la siguiente forma:

- Body 1: Costillas
- Body 2: Largueros y larguerillos
- Body 3: “Borde”
- Body 4: Revestimiento

##### 4.1.1.1 Body 1. Costillas

El perfil empleado en el modelo I-152 en las alas es el Clark YH, perfil que también fue empleado en el modelo posterior I-153. Se define a partir de la importación de sus coordenadas de Excel a CATIA mediante el uso de un Macro incluido en los archivos de CATIA. Las coordenadas del perfil están disponibles en distintas bases de datos en internet, en concreto se utilizaron las disponibles en la web <http://airfoiltools.com/>.

El procedimiento empleado en la importación de coordenadas consta de varios pasos básicos. En la hoja de Excel se indican las coordenadas absolutas de los puntos que conforman el perfil, haciendo el uso del Macro se ejecuta Feuil1. Main y finalmente se indica la opción 2 que representa en el Part, previamente abierto en CATIA, el spline que define al perfil con sus puntos asociados.

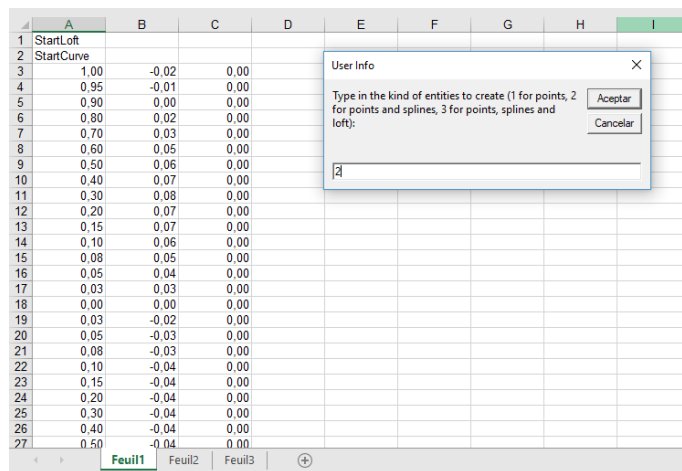


Figura 4-2. GSD\_PointSplineLoftFromExcel

Tras ejecutar el macro se genera el spline con las coordenadas que definen de forma adimensional al perfil. Para ajustar el tamaño del mismo se emplea la herramienta Scale en un Sketch en el que se indica la dimensión final de 1500 mm de cuerda, el resultado es el mostrado en la figura 4-3.

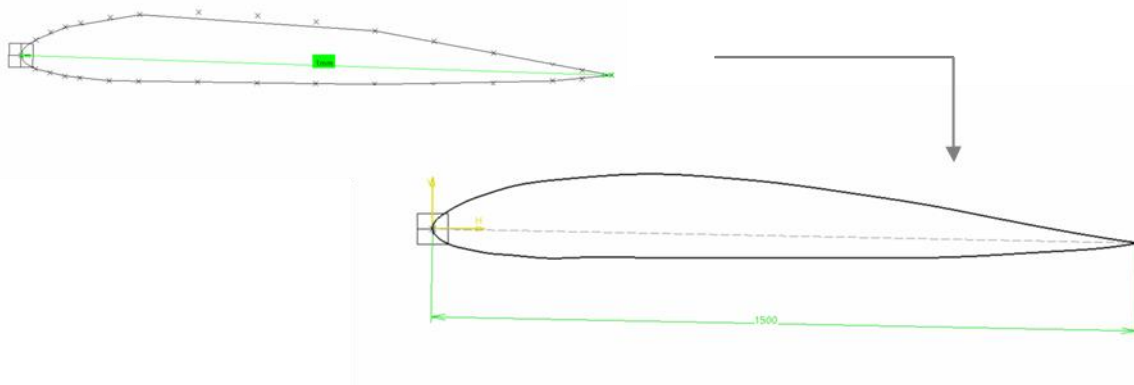


Figura 4-3 Definición del perfil ClarkYH

Tras definir la forma del perfil se construye el Sketch que establece la forma en planta del ala mediante Sketch Tracer. Al tratarse de un ala cuyos extremos no son triviales, las costillas no serán idénticas ya que cada una tendrá la cuerda que le corresponda según su posición correspondiente a lo largo de la envergadura. Para dar forma a las costillas se realiza la extrusión de un semiala mediante la operación Multi-Sections Solid, la otra mitad se realizará mediante simetría.

Las guías que definirán la multisección se obtienen a partir del Sketch de la forma en planta, definido después del escalado del perfil aerodinámico. En esta operación será necesario un segundo sketch de un perfil que se apoye en las guías definidas y se adapte a ellas. Para la definición del sketch se crea un plano paralelo al primer perfil y se localiza en el extremo del ala. En el sketch se realiza la intersección de las guías con el plano con la operación Intersect 3D Elements para medir la longitud de la cuerda correspondiente al nuevo perfil. Tras conocer los puntos que indican los extremos del segundo perfil, se realiza la proyección del primero mediante Project 3D Elements para luego escalar con Scale dicha proyección a la medida asociada a la intersección anterior. Una vez obtenido el segundo perfil con su cuerda correspondiente, éste se sitúa entre las intersecciones realizadas de las guías y se asegura su coincidencia con ellas mediante el uso de Coincidence.

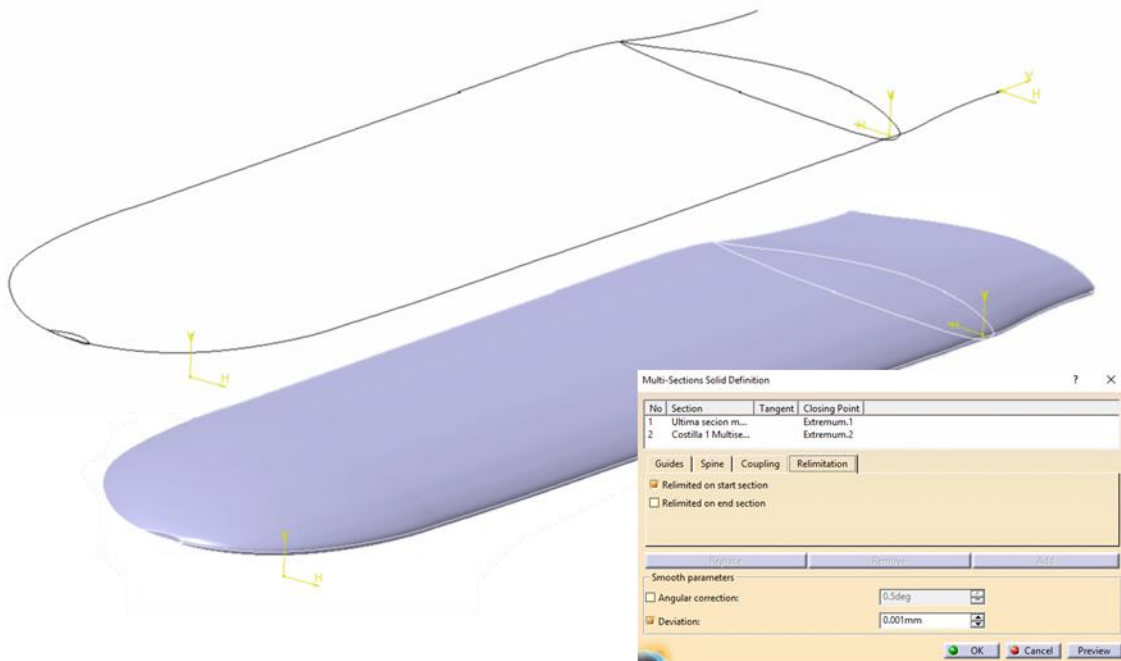


Figura 4-4 Multi-Sections Solid del ala superior

Después de solidificar la superficie se procede a la definición de las costillas. Las costillas tienen una geometría interna que se modelará a partir del sólido anterior mediante el uso de Erase Multisection Solid. La geometría de la primera costilla y la penúltima (21) es la misma, por ello cada uno de los vaciados se realizará



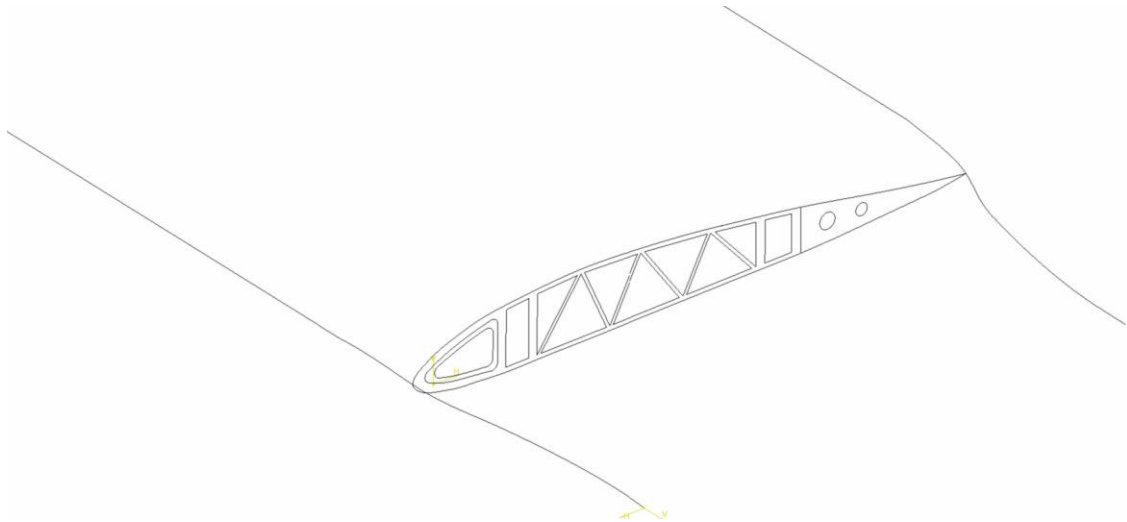


Figura 4-7 Sketchs de vaciado de la primera costilla

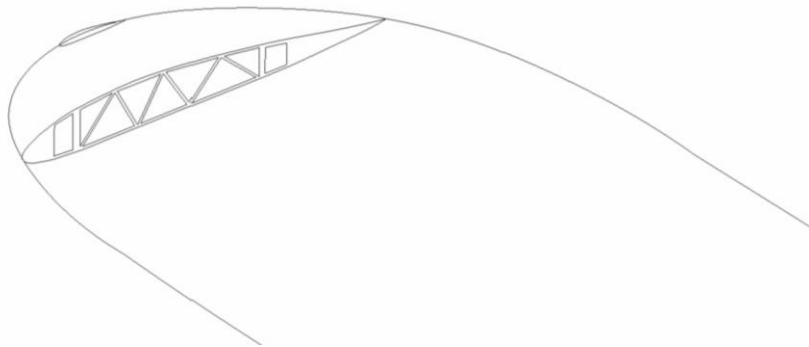


Figura 4-8 Sketchs de vaciado de la última costilla

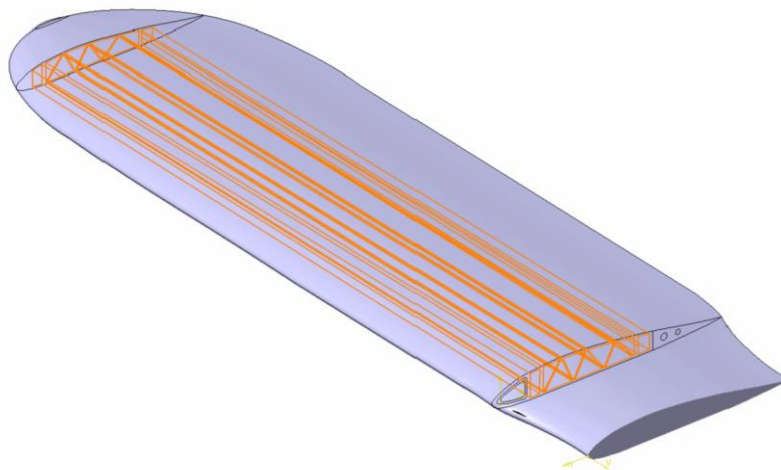


Figura 4-9 Erased Multi-Sections Solid sobre el ala superior

Después del vaciado se procede a la división del sólido para dar forma y espesor a las costillas. El espesor de las costillas no es un dato de partida, éste se ha deducido a partir de las fuentes disponibles. El plano que ofrece una vista en planta del avión contiene una sección en la que se aprecian las costillas, sin embargo no tiene la calidad suficiente para fijar una medida a partir de él. Procediendo de forma inversa, teniendo en cuenta que los espesores de las costillas de este tipo de aviones suelen tener un espesor que varía entre 1 cm y 2 cm, podemos establecer un espesor de 18 mm sobre el plano y comprobar después la viabilidad de la estimación.



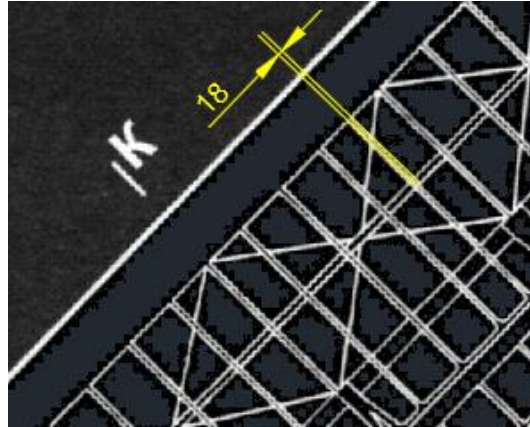


Figura 4-10 Acotación del espesor de las costillas

La estimación del espesor se considera apropiada tras ser contrastada con el plano en AutoCAD por lo que se procede a la división del sólido extruido. Con la operación Pocket se fija el espesor de las costillas y mediante Rectangular Pattern se traslada la operación a lo largo de la envergadura. Las costillas están equiespaciadas y teniendo en cuenta el espesor y la envergadura se fija una distancia de separación entre ellas de 179.41 mm. El resultado del Rectangular Pattern asociado al Pocket definido se muestra en la siguiente imagen. En ella se aprecian los vaciados realizados anteriormente a lo largo de la semienvigadura.

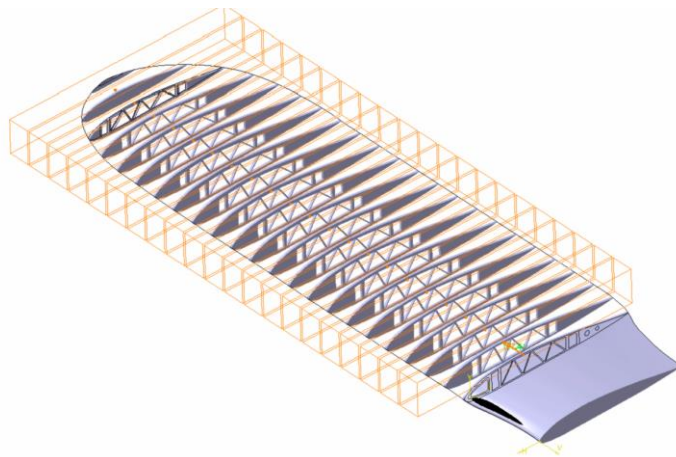


Figura 4-11 Rectangular Pattern asociado a Pocket

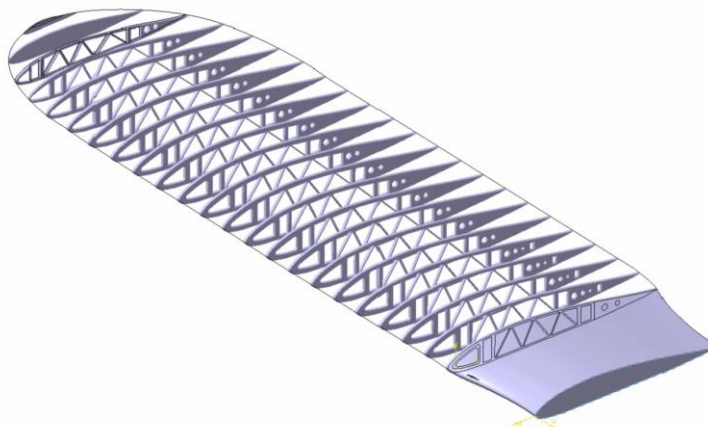


Figura 4-12 Distribución resultante de las costillas

La última operación correspondiente a la definición de las costillas consiste en el corte de la zona dedicada a los alerones. El Pocket se realiza mediante el sketch mostrado en la siguiente figura, trata de ser redondeado en la zona de unión para facilitar el movimiento del alerón. En la imagen posterior se muestra el resultado una vez realizado el corte.

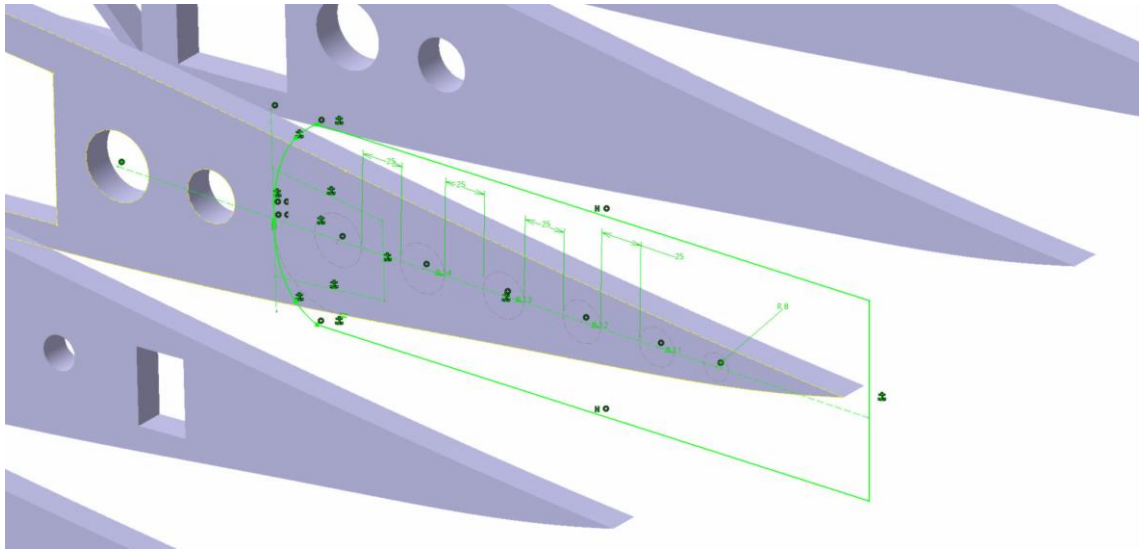


Figura 4-13 Definición del sketch en la zona del alerón

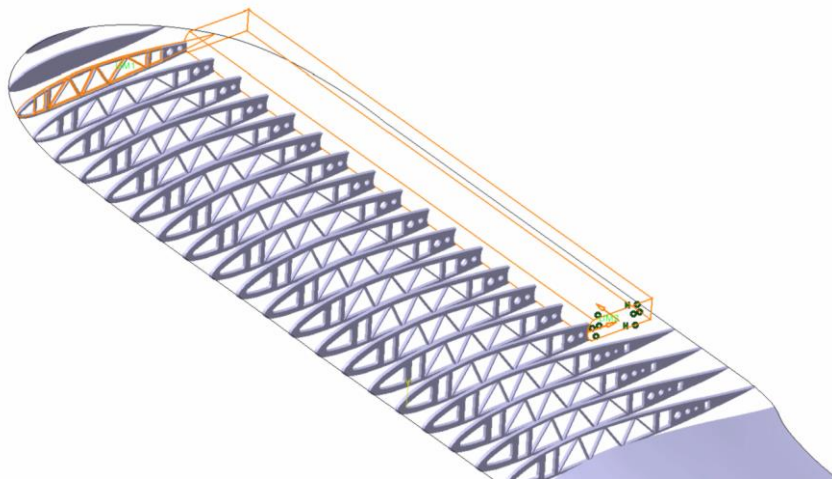


Figura 4-14 Pocket asociado a la zona de los alerones

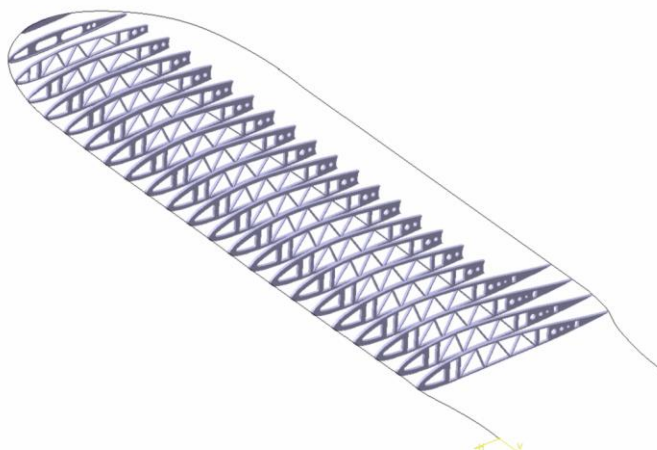


Figura 4-15 Resultado del Body 1: Costillas del ala superior

#### 4.1.1.2 Body 2. Largueros y larguerillos

Los largueros se sitúan a lo largo de las costillas y se modelan con multisecciones apoyándose en la geometría de las costillas anteriormente definida. Cada larguero se modelará mediante el uso de dos Multi-Sections Solid y se definirán guías en las zonas más conflictivas.

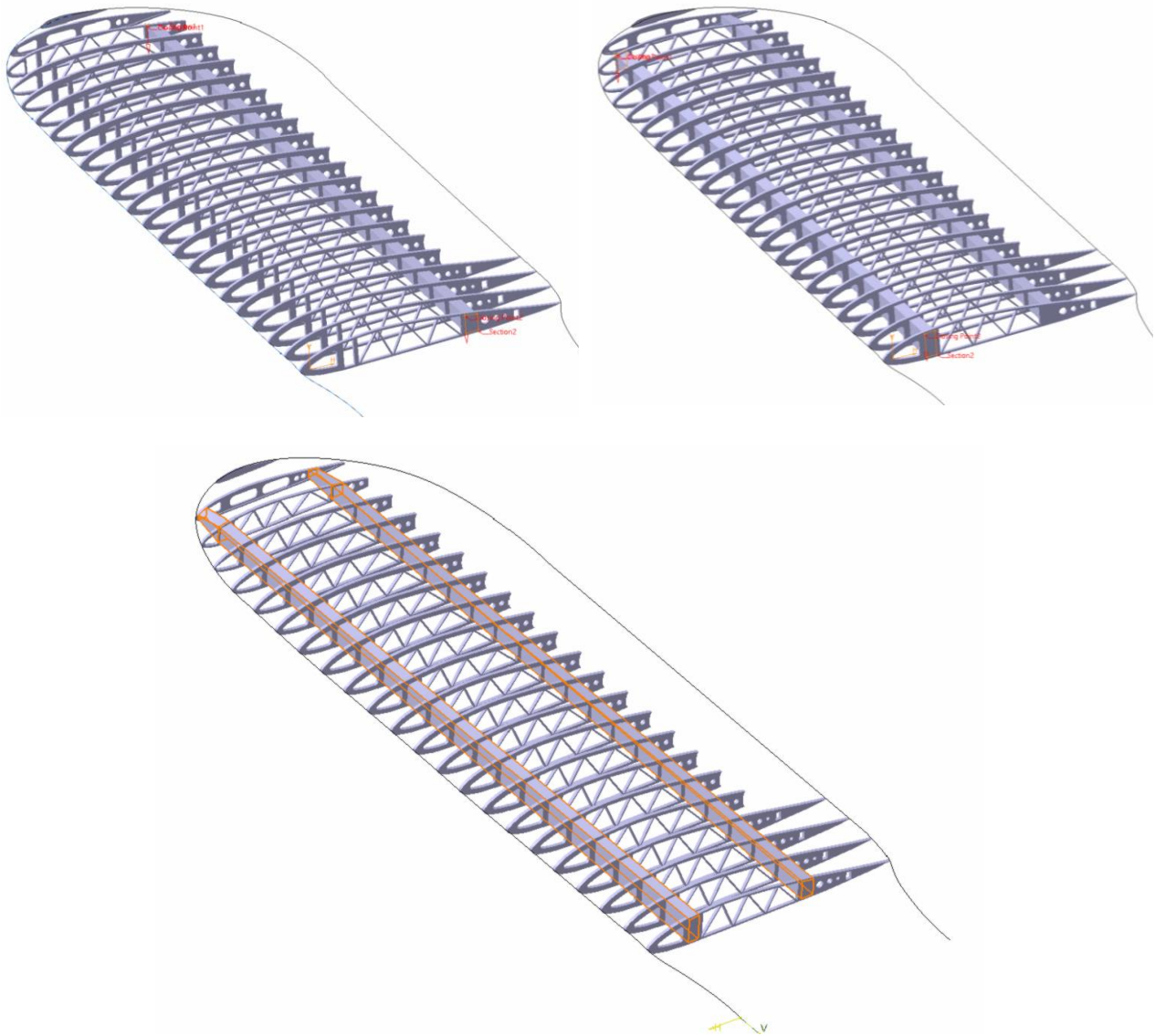


Figura 4-16 Definición de los largueros mediante Multi-Sections Solid

La unión entre el ala y la zona central se encuentra en el extremo de los largueros. A falta de planos o imágenes de las uniones que se emplearon, en los extremos se modelan uniones a modo de bisagras de montaje. Se extruyen mediante Pads y posteriormente se realiza un Shell de 5 mm del sólido resultante conformado por la unión y los largueros (ver fig. 4-17).



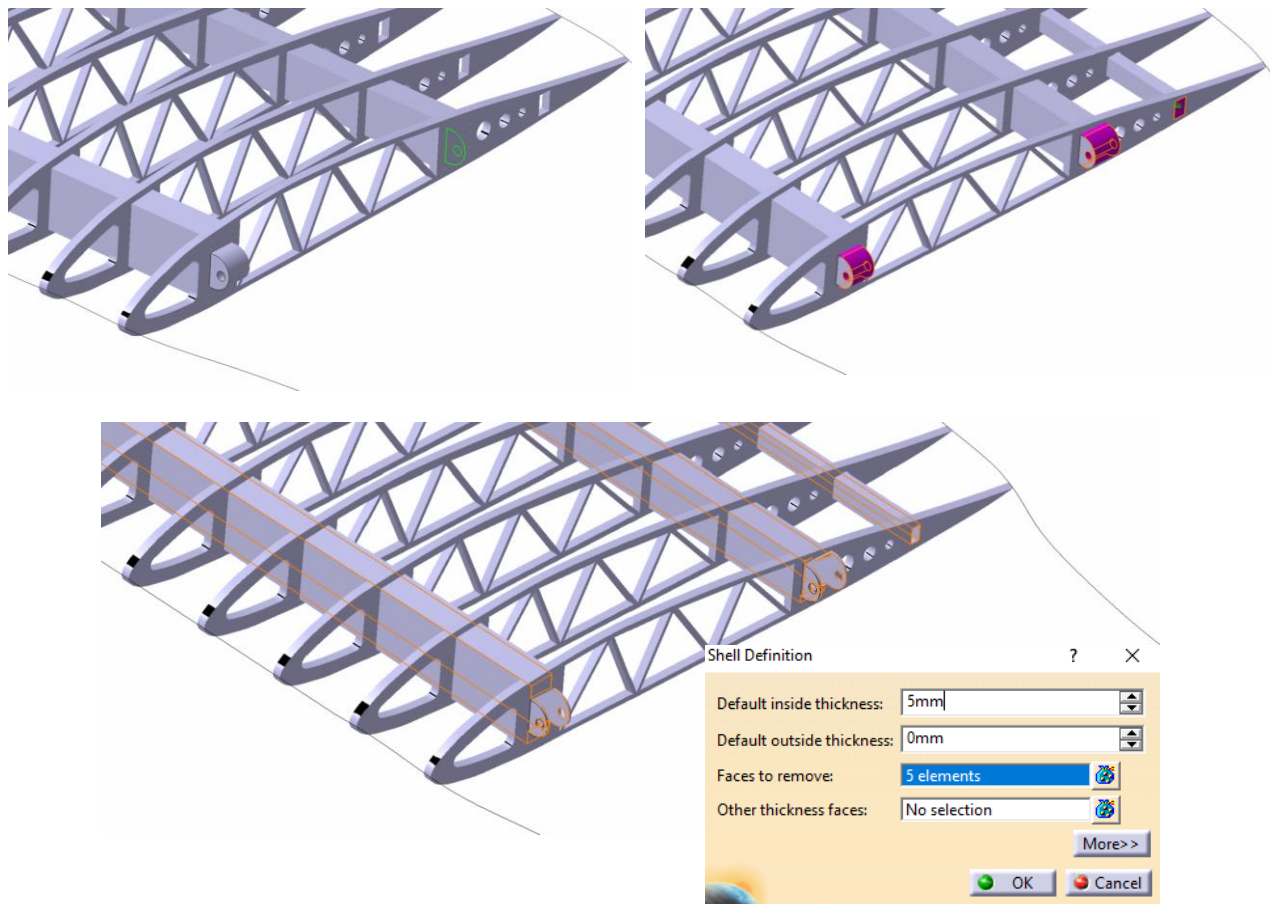


Figura 4-17 Definición de la unión entre el ala superior y la zona central

A lo largo de la envergadura, cada grupo de 3 y 4 costillas se encuentra unido por cordones cruzados. La sección de ellos es circular y se le asocia un diámetro de 2 mm. Se modelan mediante la operación Rib y trasladan a partir de la operación Rectangular Pattern. A la mitad de la altura de los largueros donde se encuentran los cordones se definen las líneas rectas que serán empleadas como curvas centrales en los Ribs. El sketch que define la sección circular del cordón se construye en el plano medio perpendicular a la línea anterior.

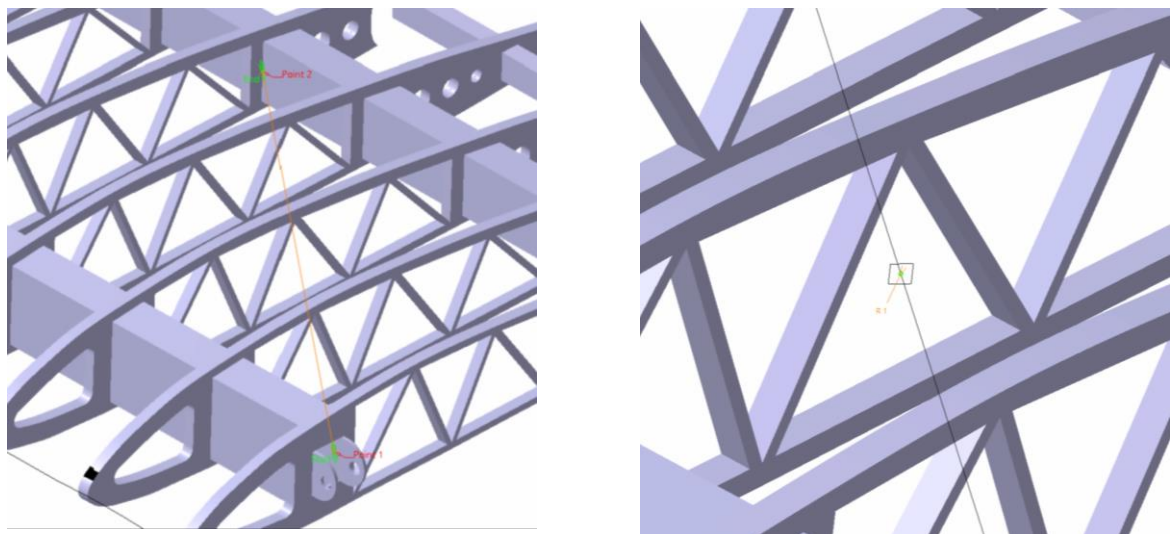


Figura 4-18 Sketchs de definición de los cordones

Una vez definidos 2 pares de cordones se aplica Rectangular Pattern de forma que se obtiene:

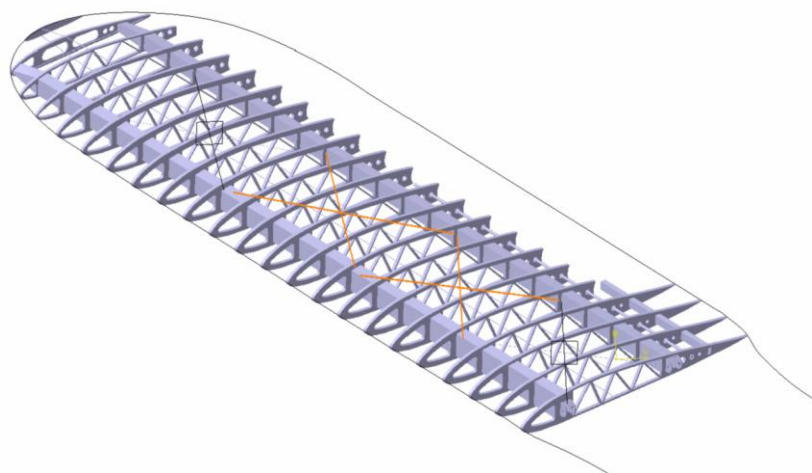


Figura 4-19 Rectangular Pattern aplicado sobre los cordones

En último lugar se modelan los larguerillos. Para modelarlos se definen perfiles rectangulares de sección 10x7mm y se emplea de nuevo la operación Rib definiendo como curva central un sketch a lo largo de la envergadura. El sketch se hace realizando la intersección de las costillas con el plano situado a la mitad de sus cuerdas con Intersect 3D Elements y uniendo los puntos de la intersección entre sí, de esta manera se define una curva que se adapta a la geometría del ala en su zona superior e inferior. En la siguiente imagen se puede apreciar el resultado.

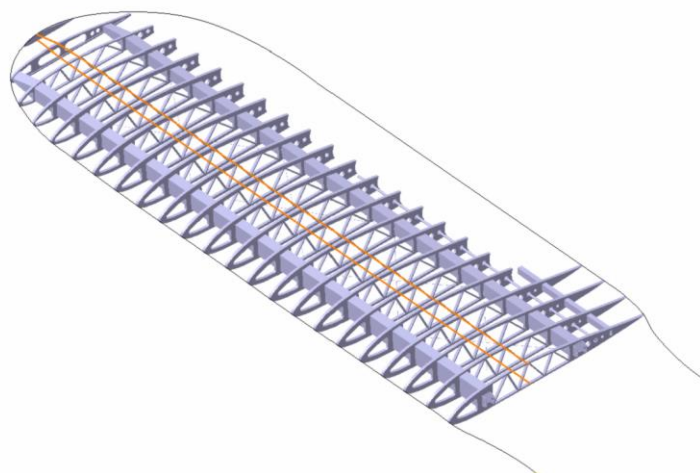


Figura 4-20 Larguerillos del ala superior

#### 4.1.1.3 Body 3. Borde

En este Body se modela el borde que rodea las costillas. La medida del ancho del borde es una incógnita, por ello se estima de nuevo la medida en 25 mm de forma coherente respecto al resto de elementos que conforman el ala y se realiza una acotación sobre el plano con dicha para comprobar si es adecuada.

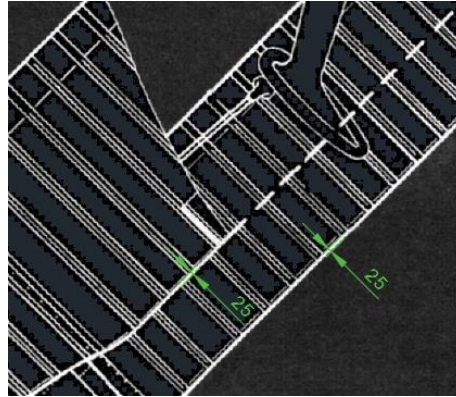


Figura 4-21 Acotación del espesor del borde

La operación consta de dos pockets diferentes, el primero eliminará la zona en la que se alojan los alerones y el segundo determinará el borde en cuestión. El sketch que define el borde se realiza haciendo un Offset de 25 mm a la proyección del borde del ala sólida. Los pasos seguidos y el resultado final son los siguientes:

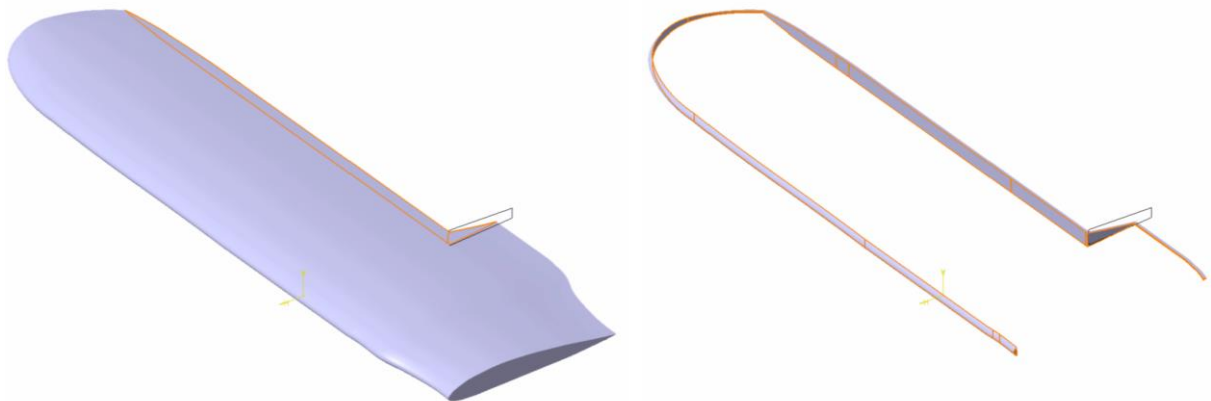


Figura 4-22 Pockets de definición del borde del ala superior

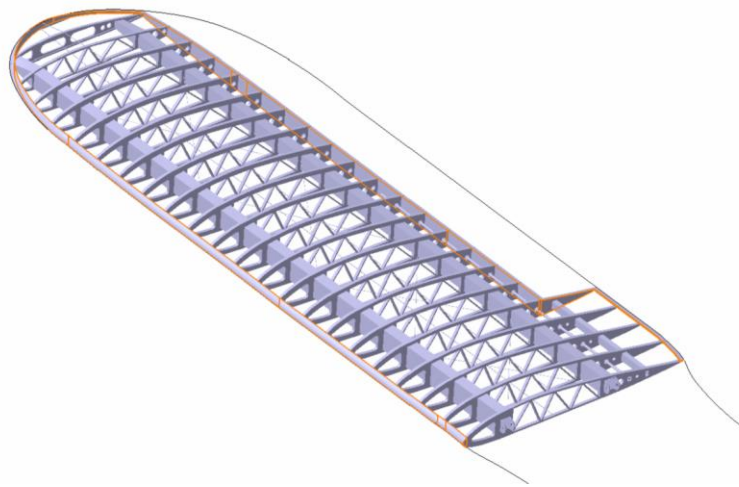


Figura 4-23 Resultado del Body 3

#### 4.1.1.4 Body 4. Revestimiento

En último lugar se modela la superficie del ala, el revestimiento.

Al tratarse de una geometría compleja se emplea el módulo Generative Shape Design y la operación Multi-Sections Surface. Para su generación se hace uso de los mismos sketches utilizados en la definición de las costillas y las mismas guías. Debido a la complejidad del ala se realizan varias multisecciones para poder aplicar el espesor final de 2 mm mediante ThickSurface sin errores.

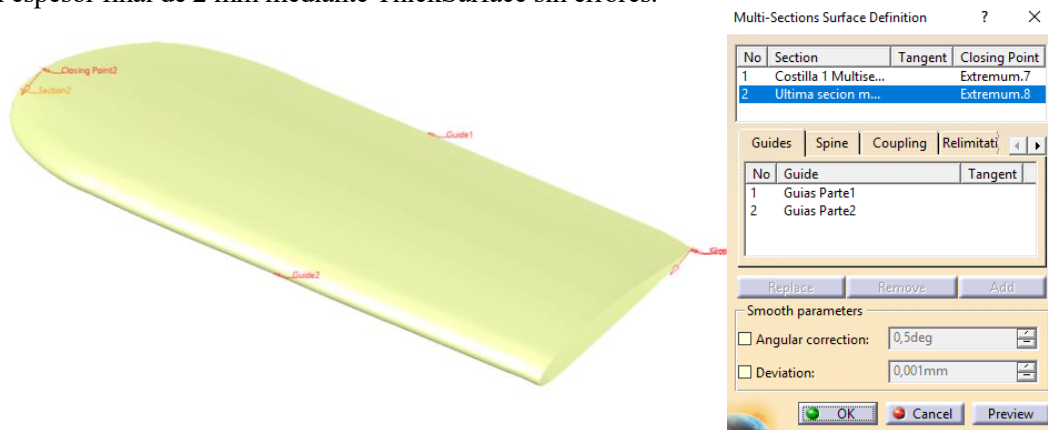


Figura 4-24 Multi-Sections Surface del ala superior

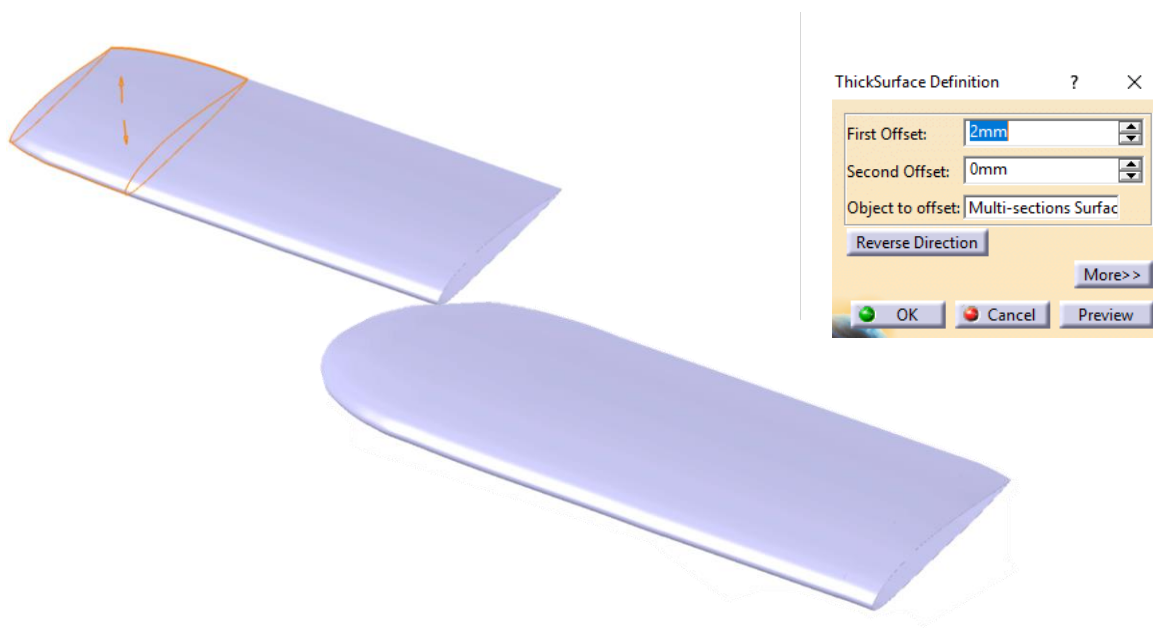


Figura 4-25 ThickSurface sobre la superficie del ala superior

Tras finalizar el modelado de los componentes más destacados del ala se realiza una comparación entre el resultado definitivo y la imagen inicial de partida procedente del manual de referencia.



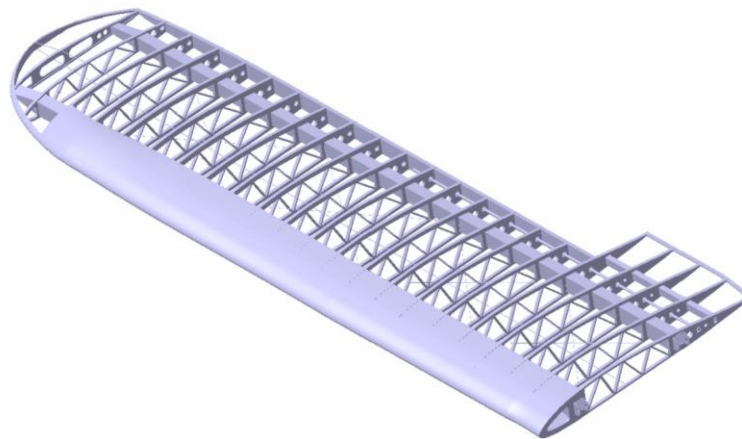


Figura 4-26 Resultado del modelado del ala superior

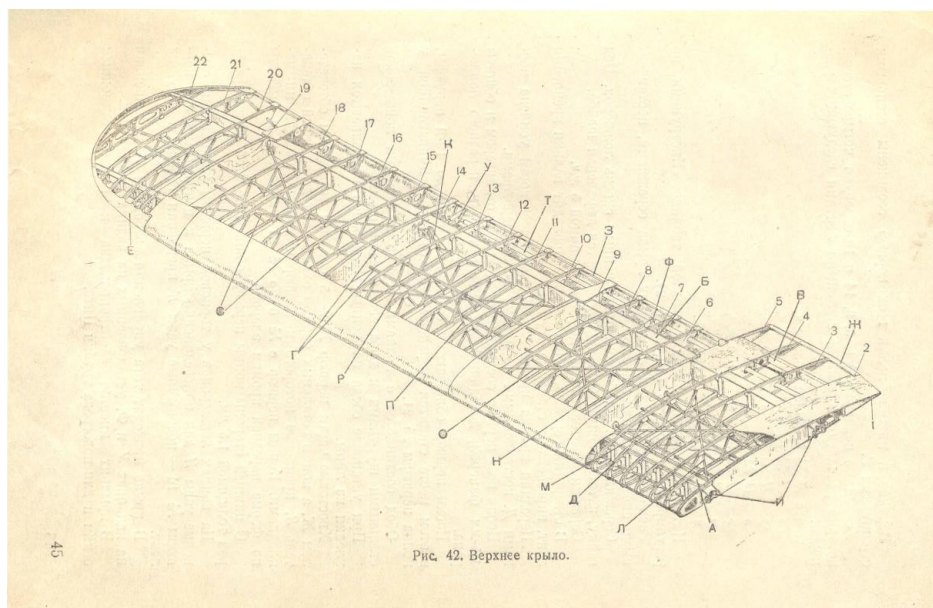


Figura 4-27 Ilustración del ala superior

## 4.1.2 Ala inferior

El ala inferior posee una semienvargadura de 3.17 m de longitud, una cuerda en su sección recta de 1.1 m y un diedro positivo de 3 grados. En el modelado, al igual que en el ala superior, se utilizan diferentes Bodies para diseñar los distintos elementos que conforman el ala.

En este apartado se desarrolla el procedimiento seguido en cada Body, siendo éstos:

- Body 1: Costillas
- Body 2: Largueros y larguerillos
- Body 3: "Borde"
- Body 4: Superficie

### 4.1.2.1 Body 1. Costillas

El proceso seguido en el modelado de las costillas es similar al del ala superior. El perfil empleado en el ala inferior es de nuevo el Clark YH por ello, se emplearán las mismas coordenadas. La cuerda máxima en la sección recta es de 1100 mm, por tanto las guías también serán diferentes. El sketch que define la forma en planta del ala se genera mediante Sketch Tracer.

Mediante líneas rectas y splines se trata de generar la misma geometría sobre el plano asegurando tangencias en la curva. La siguiente imagen es una captura del sketch generado sobre el plano que será empleado en la multisección.

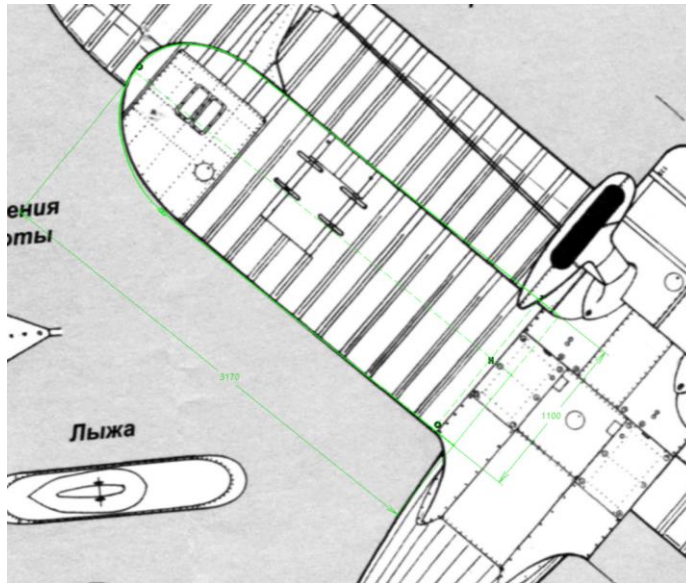


Figura 4-28 Sketch sobre el plano de la forma en planta del ala inferior

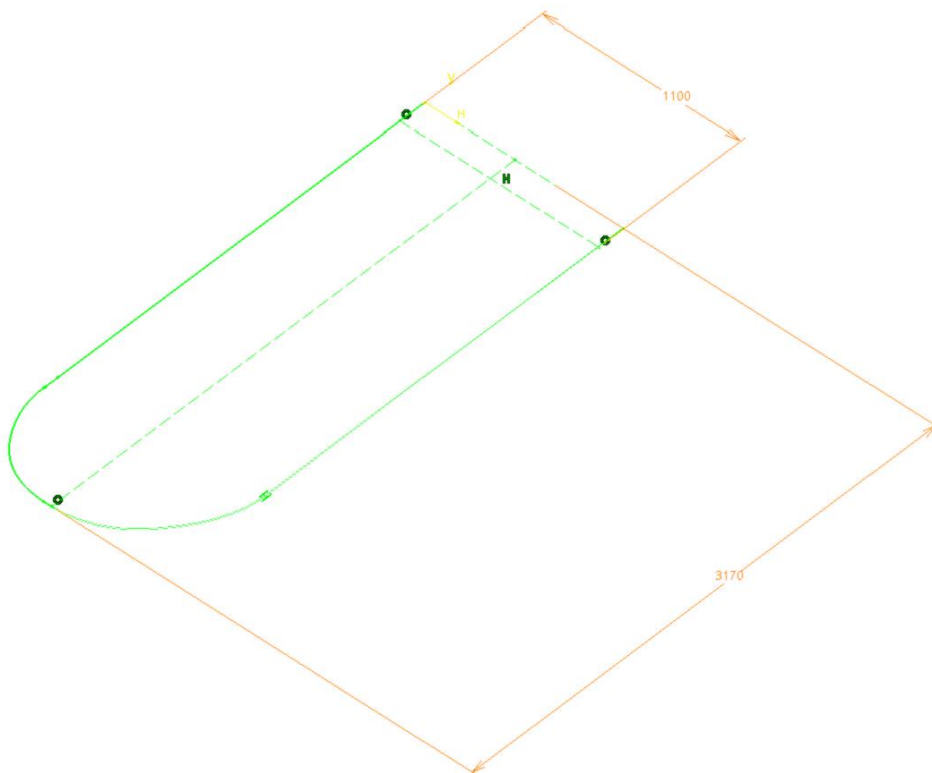


Figura 4-29 Sketch obtenido de la forma en planta del ala inferior

Tras generar las guías se colocan los perfiles que definirán la multisección, los perfiles serán escalados y trasladados a las zonas correspondientes a lo largo de la envergadura mediante el mismo método empleado en el ala superior.

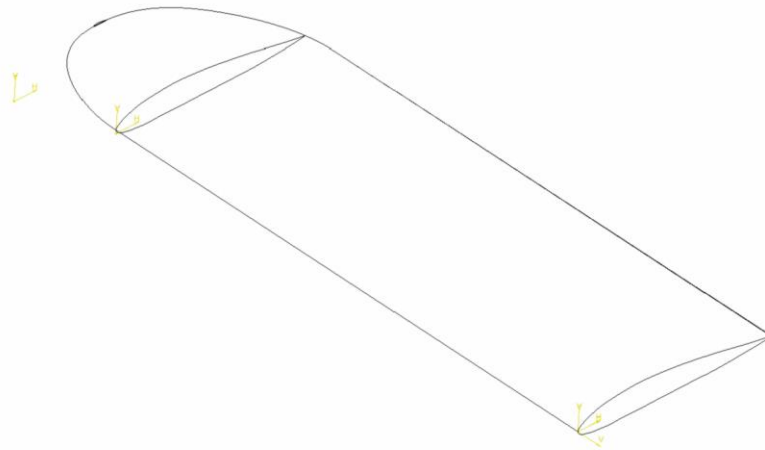


Figura 4-30 Sketchs de las guías y perfiles aerodinámicos del ala inferior

Después de la definición de las guías y los perfiles coincidentes a ellas se realiza la operación Multi-Sections Solid obteniendo como resultado:

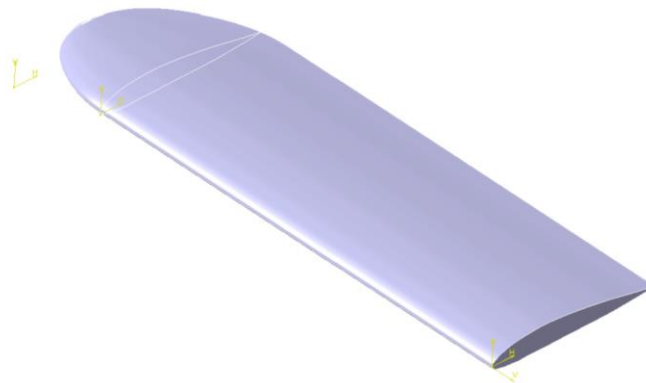


Figura 4-31 Resultado Multi-Sections Solid del ala inferior

Tomando como referencia la ilustración correspondiente a la forma de las costillas del ala inferior, se realizan dos sketchs en las posiciones correspondientes a la primera y antepenúltima costillas. Dicha zona compartirá la geometría indicada y los sketchs serán empleados en el vaciado de las secciones de extremo a extremo del sólido.

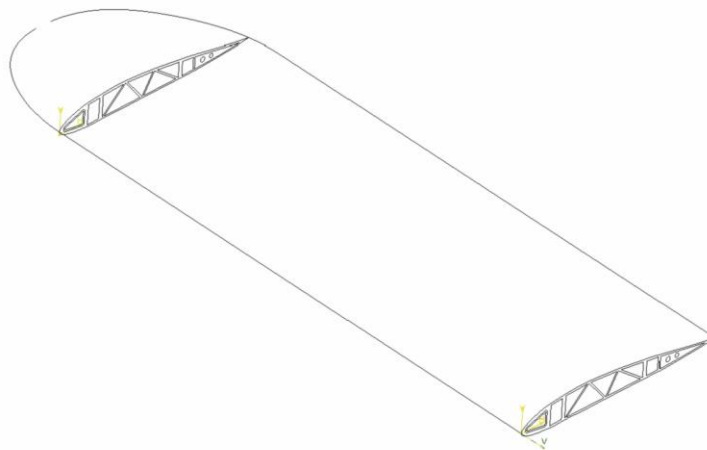


Figura 4-32 Sketchs de vaciado y guías del ala inferior

Una vez definidas las geometrías dedicadas al vaciado se ejecuta Removed Multi-Section Solid y posteriormente se divide el sólido para definir el espesor y la separación de las costillas. El espesor de las costillas es de 18 mm al igual que en el ala superior, sin embargo la distancia de separación entre las mismas es en esta parte de 210.14 mm. Trasladando con Rectangular Pattern la operación de Pocket asociada a esta distribución de costillas se obtiene la geometría buscada. Las últimas costillas poseen una distancia de separación y geometría diferente por lo que se modelarán de forma independiente (ver fig. 4-34).

El resultado tras aplicar el vaciado y la separación de las costillas se muestra en la imagen inferior.

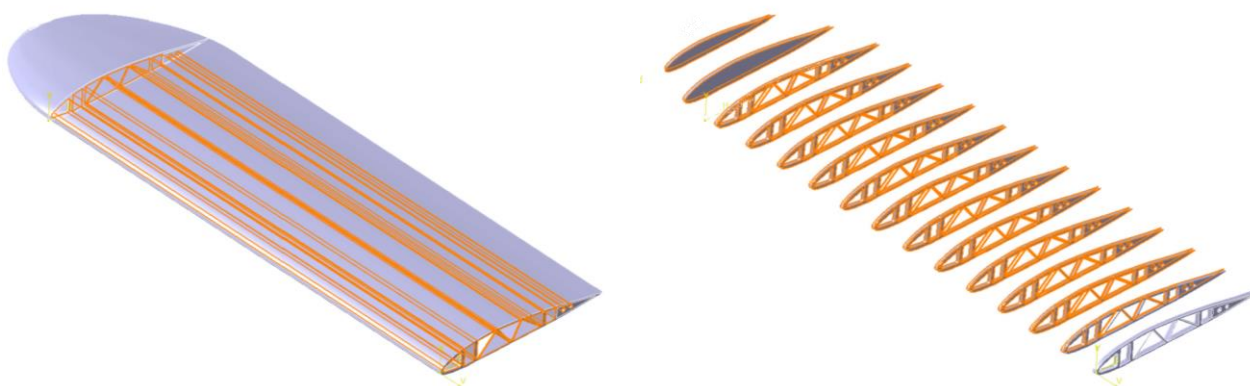


Figura 4-33 Vaciado y definición de las costillas del ala inferior

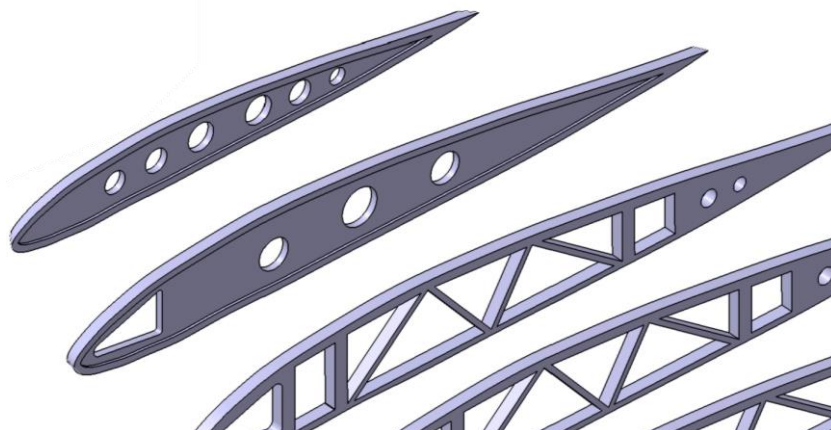


Figura 4-34 Detalle de las últimas costillas del ala inferior

#### 4.1.2.2 Body 2. Largueros y larguerillos

Los largueros se modelan de nuevo mediante Multi-Sections Solid haciendo uso de la geometría empleada anteriormente para realizar el vaciado del sólido. Cada larguero se define con dos multisecciones y se modela a partir de las secciones rectangulares vaciadas en las costillas.

Las siguientes imágenes muestran un ejemplo de uno de los Multi-Sections Solid empleado y el resultado final.



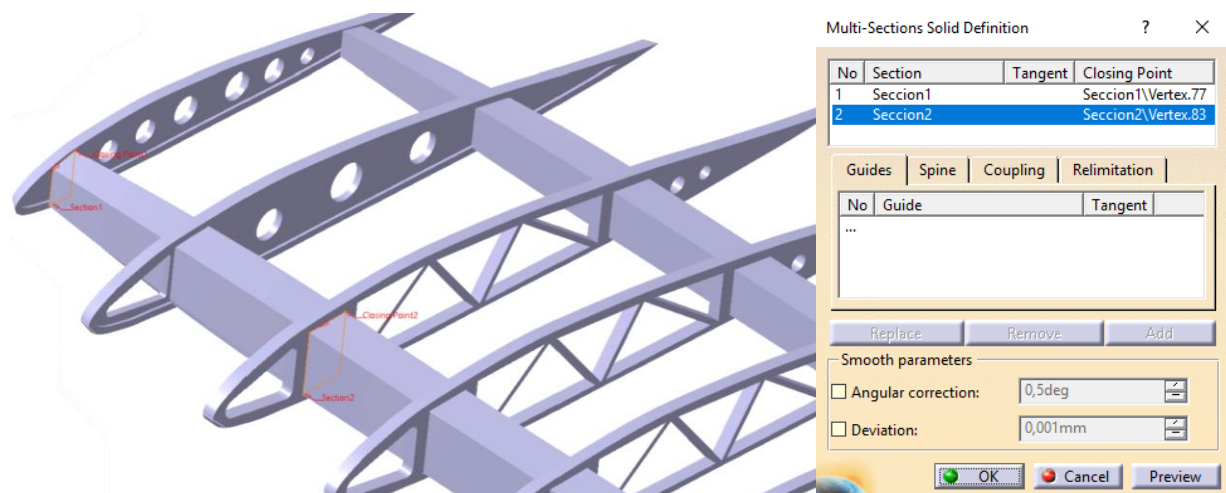


Figura 4-35 Ejemplo de Multi-Sections Solid empleado en un larguero

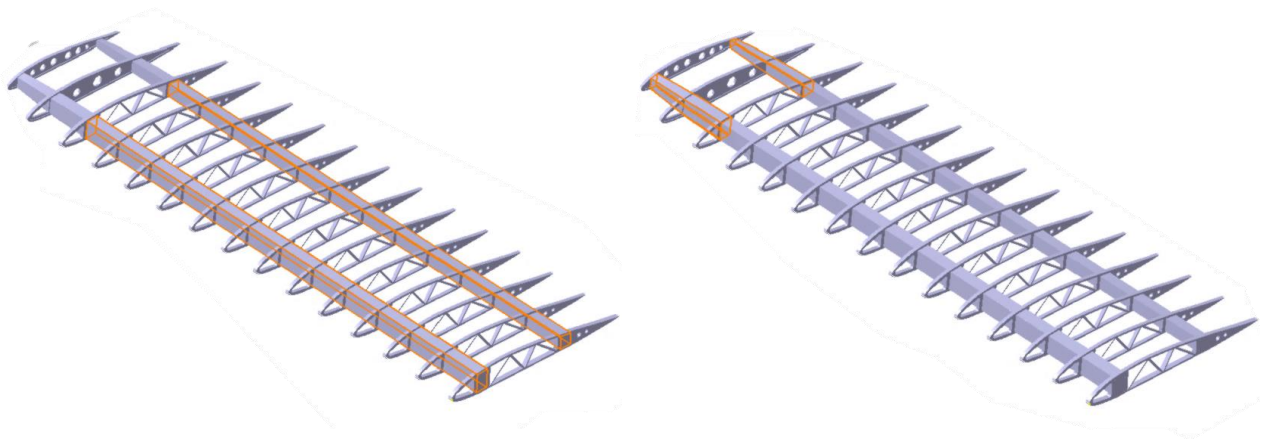


Figura 4-36 Largueros modelados del ala inferior

El ala inferior se conecta a la estructura tubular del fuselaje mediante una unión situada en los extremos de los dos largueros principales ya modelados. La unión se modela como un sólido provisto de una sección circular del mismo diámetro que los tubos del fuselaje, este diseño se realiza con el fin de facilitar el ensamblaje final de la aeronave ya que se carece de planos de dicha unión. Primero se modelará mediante Pad el primer tramo de la unión, después se hará uso de nuevo de la herramienta Multi-Sections Solid y finalmente se realizará el agujero de 20mm de diámetro para facilitar la unión.

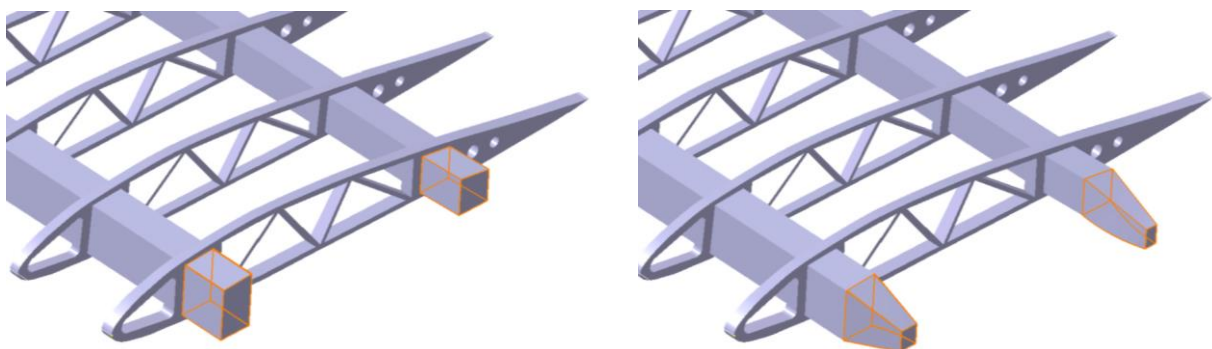


Figura 4-37 Definición de los extremos de los largueros

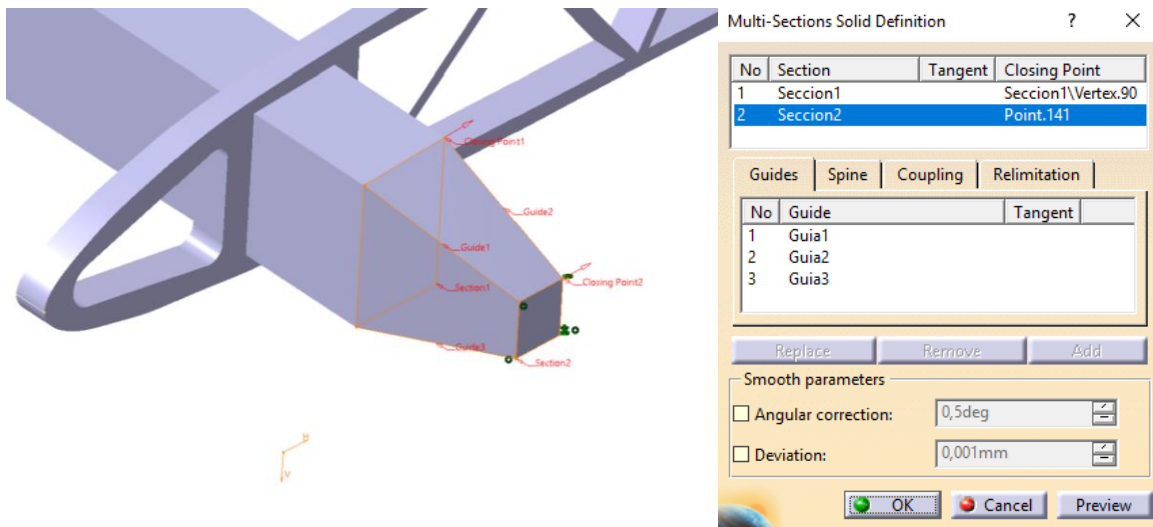


Figura 4-38 Detalle Multi-Sections Solid

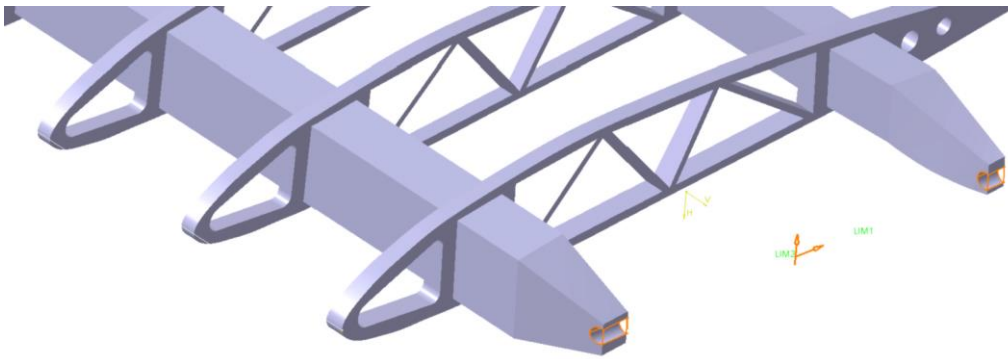


Figura 4-39 Pocket dedicado a la unión del ala inferior con el fuselaje

Por último, al igual que en el ala superior, los larguerillos y cordones dispuestos en cruz se realizan mediante la operación Rib siendo sus secciones rectangulares y circulares respectivamente. El sketch correspondiente a la sección de los larguerillos tendrá una sección de 10x7 mm, las curvas centrales de la operación se definen a partir de la proyección de las costillas sobre el plano perpendicular medio a todas las costillas. La sección circular de los cables será de 2 mm de diámetro y las curvas centrales serán líneas definidas entre cada dos y tres costillas situadas a la mitad de la altura de los largueros.

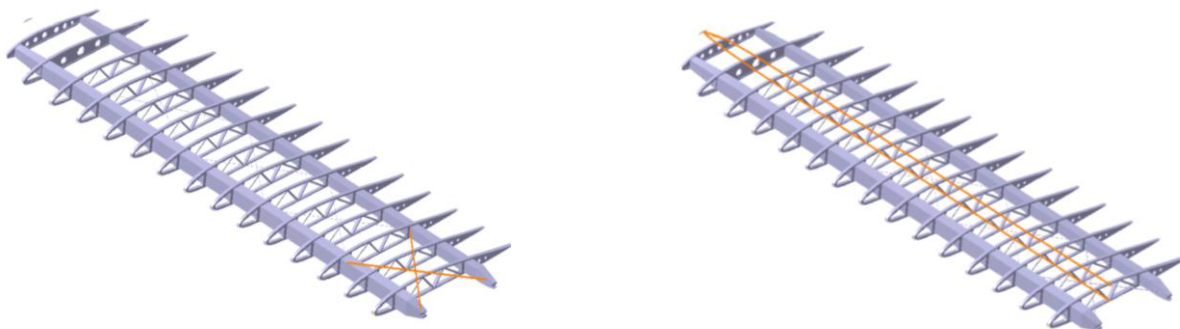


Figura 4-40 Definición de cordones y larguerillos del ala inferior

#### 4.1.2.3 Body 3. Borde

De forma similar al ala superior, el borde de salida y ataque a lo largo del ala se modela a partir del sólido completo practicando un pocket sobre el mismo. Se establece una medida de 25 mm de ancho del borde por las mismas razones que en el ala superior y para definirlo se realiza un Offset de 25 mm de las guías que definen la forma del ala.

Los pasos de esta operación se muestran en las siguientes ilustraciones.

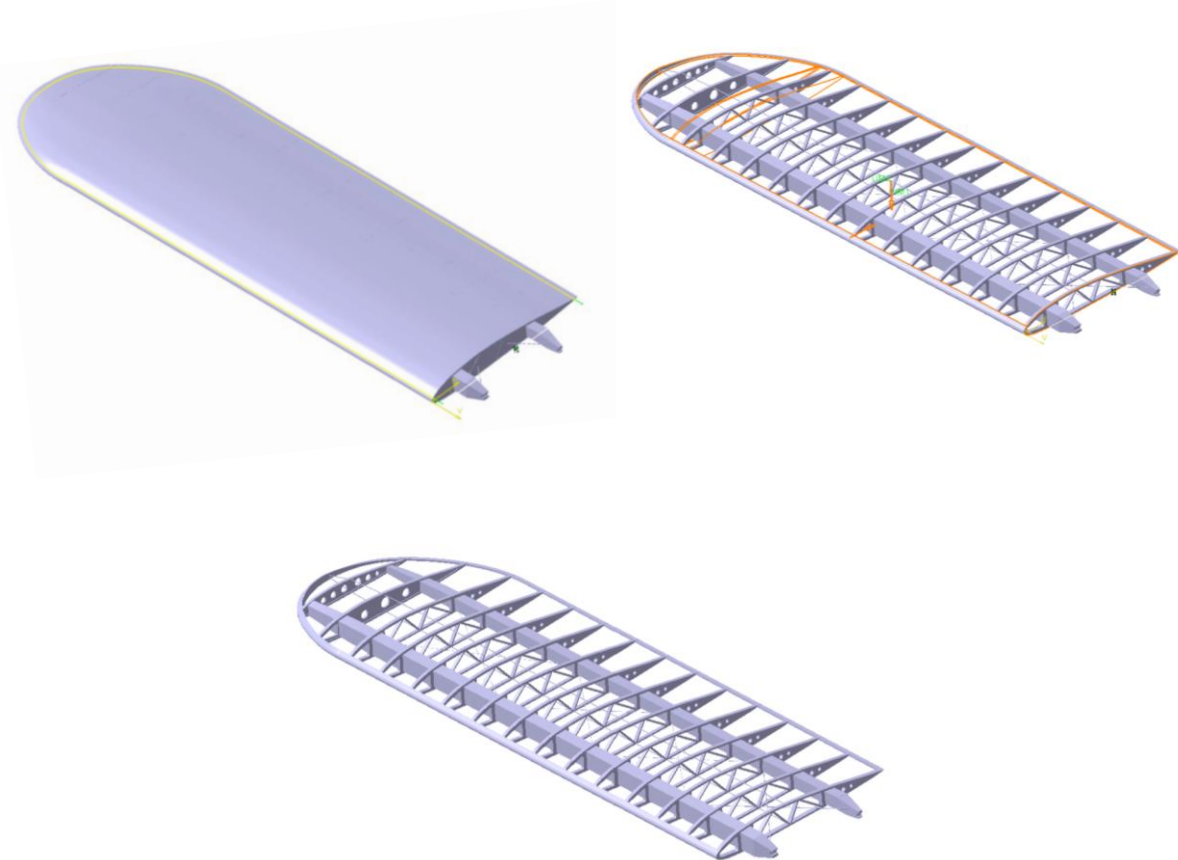


Figura 4-41 Evolución del modelado del borde en el ala inferior

#### 4.1.2.4 Body 4. Revestimiento

El revestimiento del ala se modela en el módulo Shape mediante Multi-Sections Surface empleando los perfiles y guías definidos al comienzo.

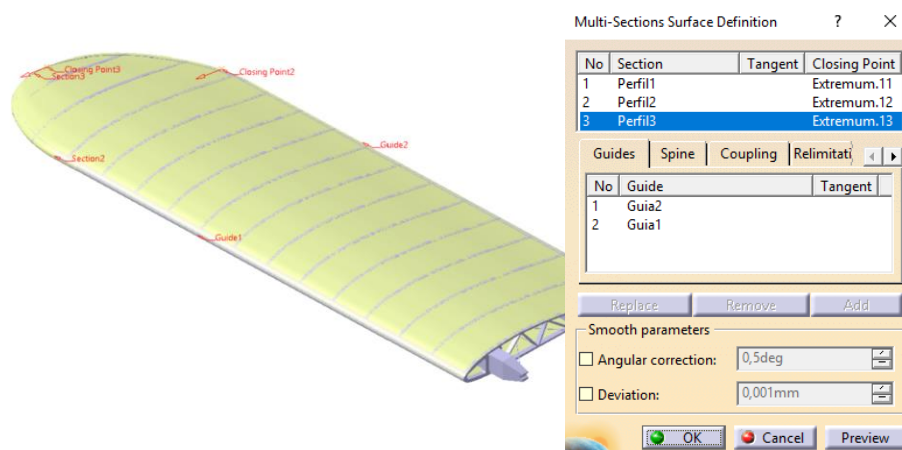


Figura 4-42 Multi-Sections Surface del ala inferior

Una vez generada la superficie del ala inferior es necesario establecer un espesor para formar el revestimiento. El espesor aplicado al revestimiento del ala es de 2 mm por semejanza con aviones del mismo tipo.

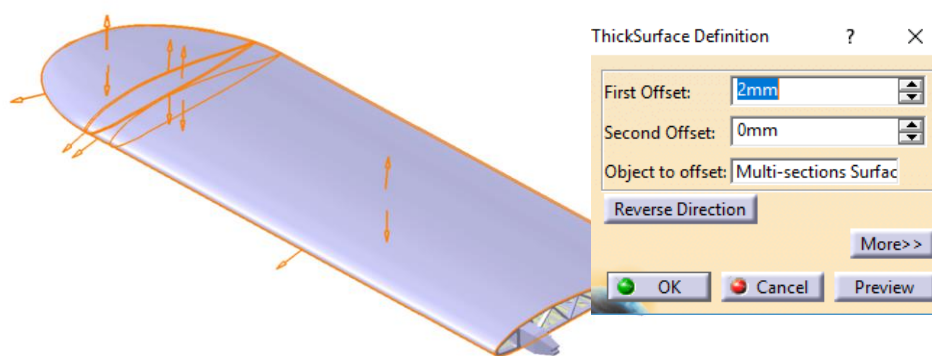


Figura 4-43 ThickSurface sobre el ala inferior

Finalmente se realiza una comparación entre el resultado final y la imagen de partida del manual de referencia. Pese a la falta de medidas exactas de los elementos el resultado consigue asemejarse al modelo original.

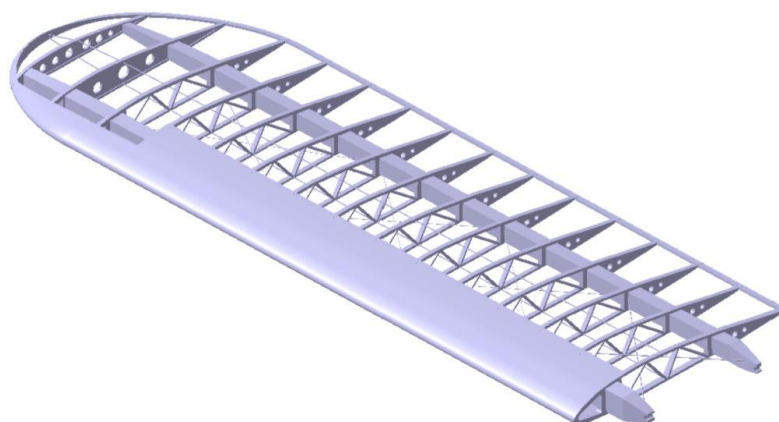


Figura 4-44 Resultado del ala inferior



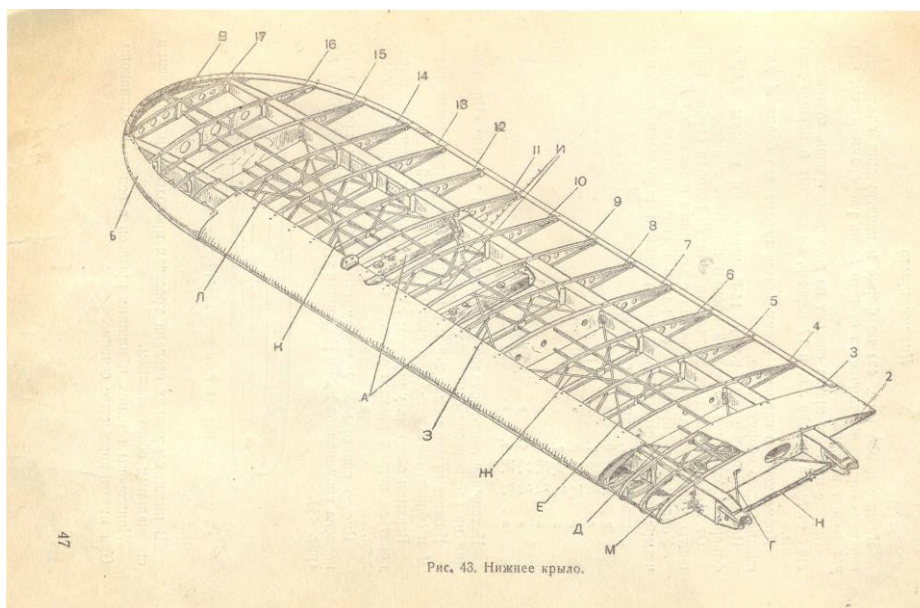


Figura 4-45 Ilustración del ala inferior

### 4.1.3 Zona central superior

Lo que caracteriza y distingue al Polikarpov I-152 frente al I-15 es en esencia la sección central que une las alas superiores convirtiendo al biplano en un biplano puro.

Para la construcción de la zona central se emplean los sketches guías obtenidos mediante el módulo Sketch Tracer sobre los planos anteriormente utilizados en la definición del ala. Se modelará la mitad de la geometría y posteriormente se aplicará la operación Mirror en el plano central para obtener la geometría completa.

El trabajo principalmente se divide en tres Bodies para facilitar el proceso, éstos son:

- Body 1: Costillas
- Body 2: Largueros y cordones
- Body 3: Superficie

#### 4.1.3.1 Body 1. Costillas

La zona central tiene una forma en planta peculiar definida por dos curvas suaves que establecen una cuerda máxima de 1450 mm en las costillas de los extremos y una cuerda mínima en la sección central, la variación de cuerda es del 14.5 % aproximadamente. Para definir el sólido se hará uso de nuevo de las operaciones Multi-Sections Solid, Pocket y Rectangular Pattern para definir la forma, espesor y distancia de separación de las costillas.

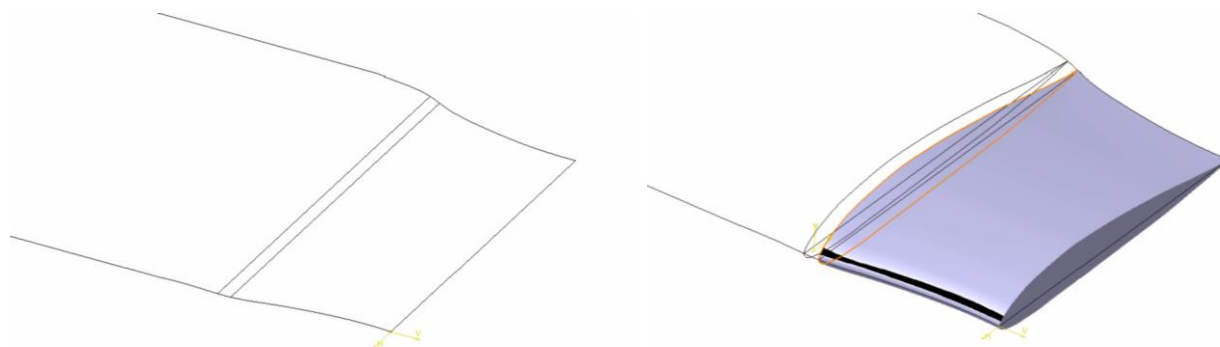


Figura 4-46 Definición del sólido de la zona central

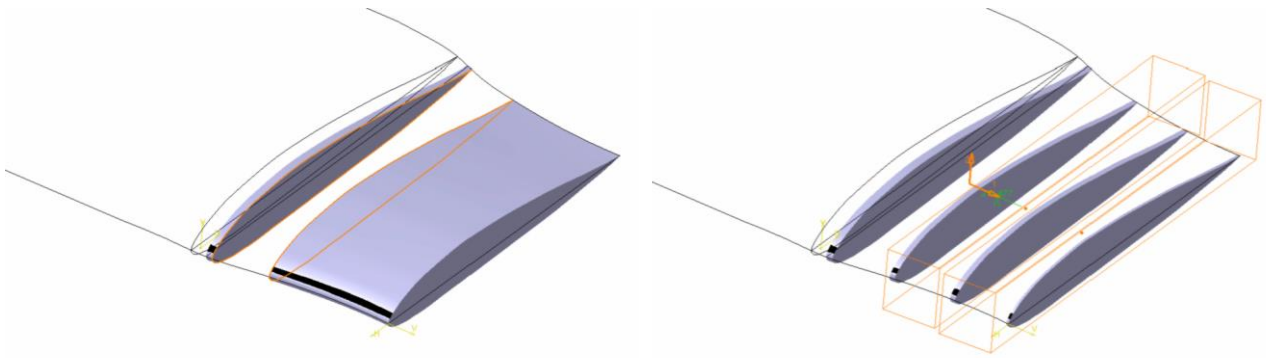


Figura 4-47 Definición de las costillas en la zona central

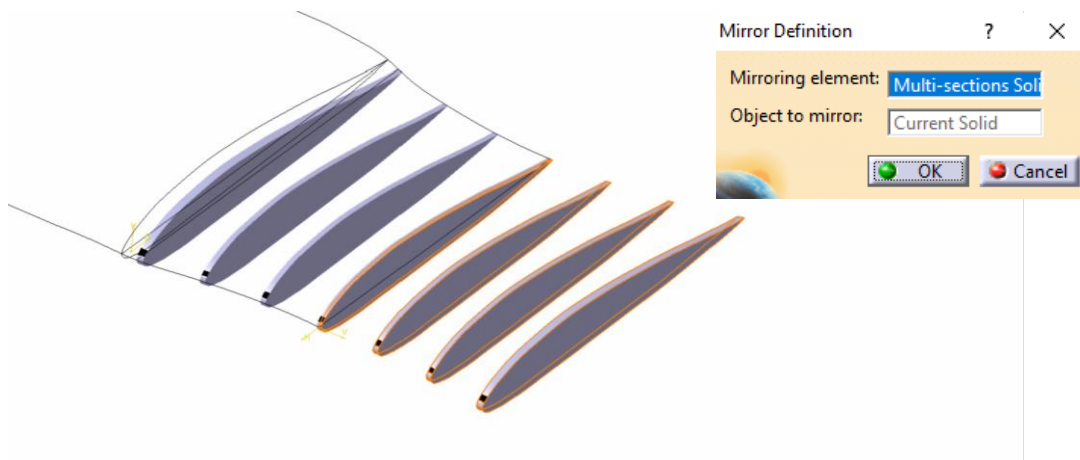


Figura 4-48 Mirror Definition en la zona central

Una vez establecida la geometría básica de las costillas y sus posiciones se realizan los agujeros de las costillas que permiten reducir el peso total del conjunto. Los largueros de la sección central se encuentran alineados con los del ala, por ello se realizan en primer lugar los agujeros donde se posicionarán los largueros y se les asigna un diámetro de 35 mm en base al ancho de los largueros del ala superior.

Dichos agujeros se recogen en la siguiente imagen donde se comprueba la proporción que guardan con la proyección del ancho de los largueros del ala.



Figura 4-49 Sketchs de vaciado dedicados a los largueros de la zona central

En segundo lugar, se practican el resto de agujeros que aligerarán el conjunto. La geometría de esta zona trata de asemejarse a la figura 4-5, de ella se toman las proporciones que guardan los elementos. Las dos medidas base son las cuerdas de cada perfil y el ancho de 25 mm del borde de ataque y salida anteriormente empleado en la definición del ala superior e inferior. Con ello, tras definir el diámetro de los agujeros que alojarán a los largueros se realiza la acotación del resto que variarán entre los 50 mm y 27 mm de diámetro.

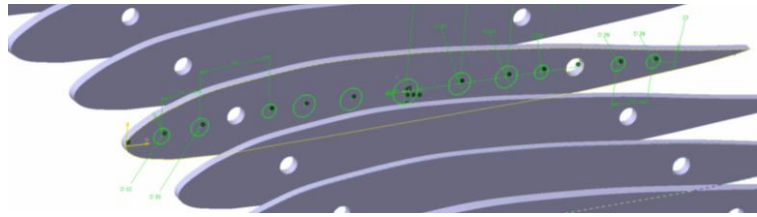


Figura 4-50 Sketchs de vaciado de la zona central

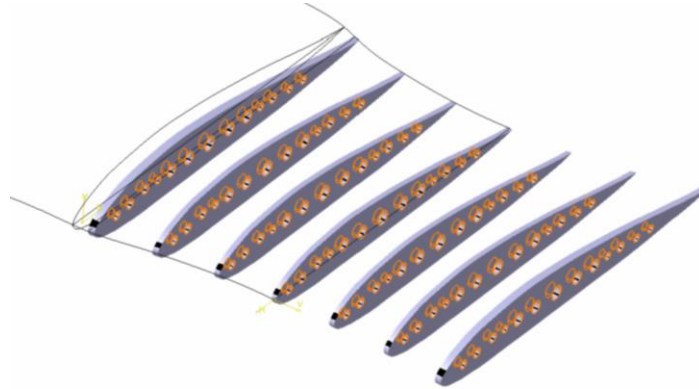


Figura 4-51 Resultado de los agujeros sobre las costillas de la zona central

Las costillas tienen un espesor total de 18 mm con un alma de 10 mm, ésto se modela mediante Pockets. Los sketches sobre los que se apoyan los Pockets son Offsets de 10 mm sobre el perímetro de los perfiles. Esta operación se realiza en 4 costillas y se traslada al resto de las costillas mediante Rectangular Pattern, la distancia fijada para ello es de 211.5 mm.

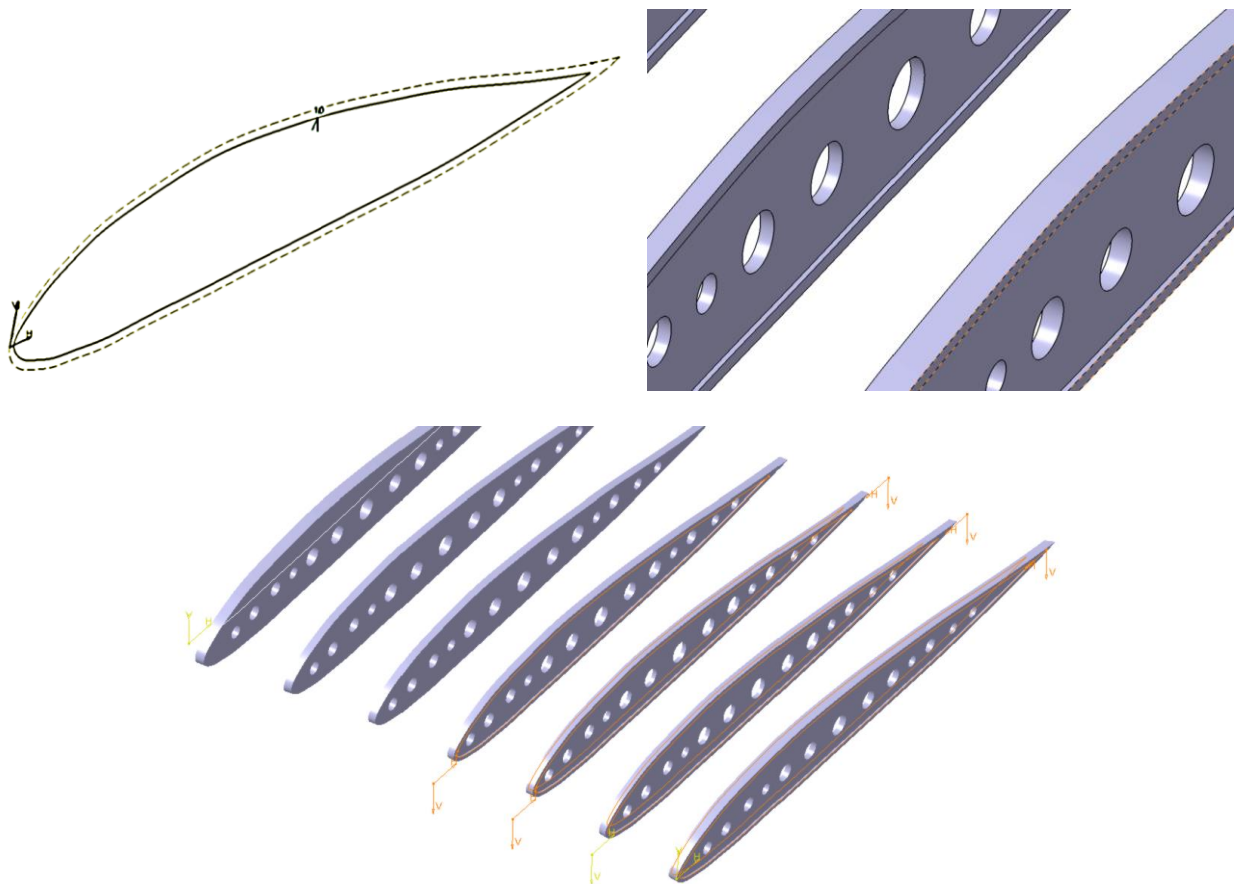


Figura 4-52 Evolución del modelado de los perfiles en I de las costillas

#### 4.1.3.2 Body 2. Largueros

La sección central posee dos largueros situados a 485 mm del borde de salida y 277.4 mm del borde de ataque. Los largueros tienen una sección circular de 35 mm de diámetro estimada tal y como se comentó en el apartado anterior.

En las ilustraciones siguientes se muestra el proceso, en primer lugar se realizan los Sketchs de las secciones proyectando la forma de los agujeros realizados en el Body 1 correspondientes a los largueros y después se solidifica mediante Pad.

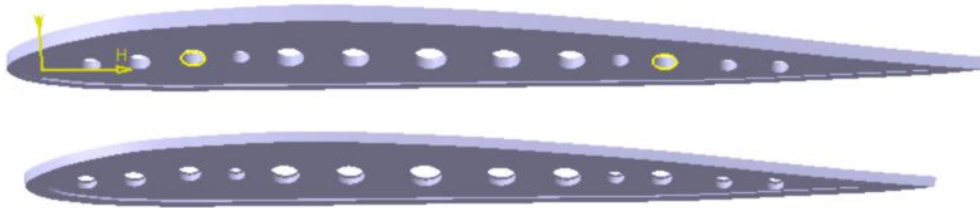


Figura 4-53 Proyección de los agujeros de los largueros

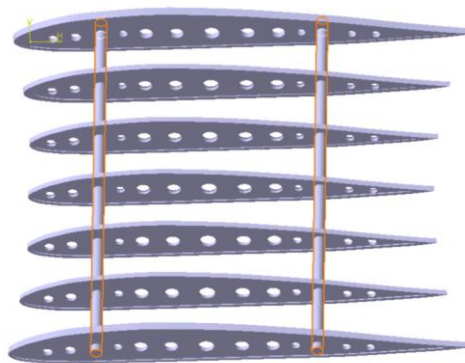


Figura 4-54 Definición de los largueros de la zona central

Además de los largueros, en este Body 2 se modelan los cordones en cruz y los nervios trenzados. La geometría de los cordones se obtiene mediante la operación Rib empleando una circunferencia de diámetro 4 mm y una curva central definida por la diagonal entre los largueros. Los nervios se construyen de forma similar, la sección es rectangular de 3x2 mm y la curva central se define en el plano medio de las costillas a partir de la proyección de las costillas para trazar la guía trenzada.

Las ilustraciones siguientes muestran los resultados.



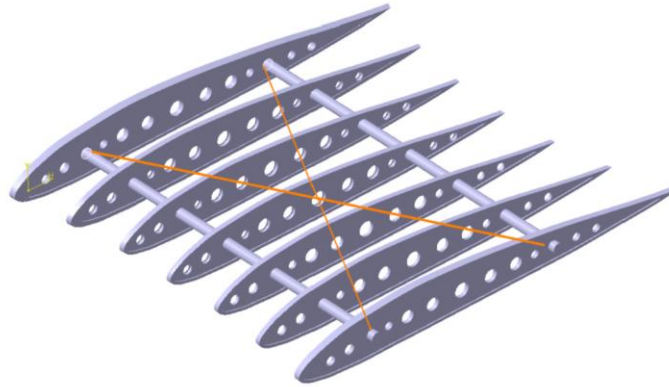


Figura 4-55 Cordones en la zona central

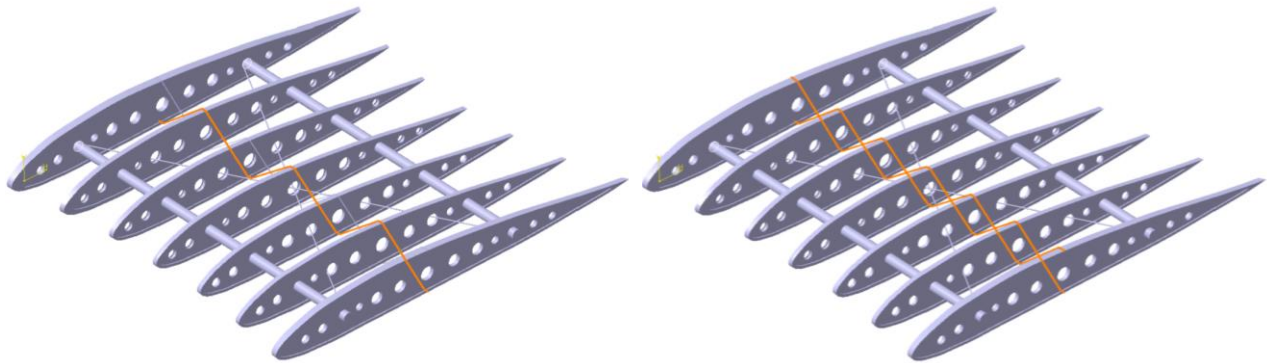


Figura 4-56 Refuerzos trenzados de la zona central

#### 4.1.3.3 Body 3. Revestimiento

El revestimiento de la superficie se realiza mediante el uso de Multi-Sections Surface con secciones extraídas de las costillas generadas mediante la herramienta extract, el uso de guías no es necesario.

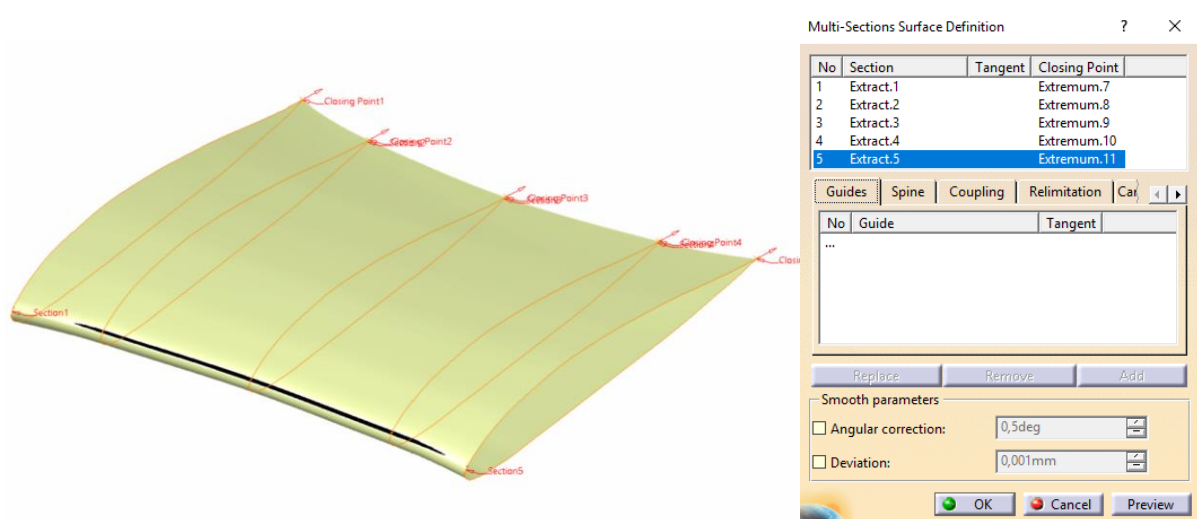


Figura 4-57 Multi-Sections Surface Definition en la zona central

Tras definir la superficie se le asigna un espesor de 2 mm en el módulo Mechanical Design con la operación ThickSurface, el proceso es el siguiente:

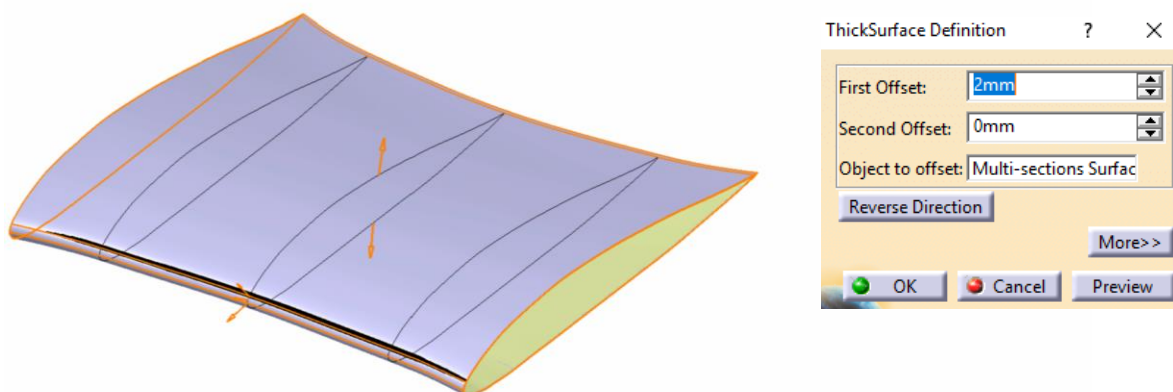


Figura 4-58 ThickSurface Definition sobre la superficie central

Con el fin de comparar la geometría obtenida con las ilustraciones del manual de referencia se realiza un corte del revestimiento manteniendo el ancho de 25 mm del borde de salida y un ancho del revestimiento del borde de ataque similar al de las alas superiores.

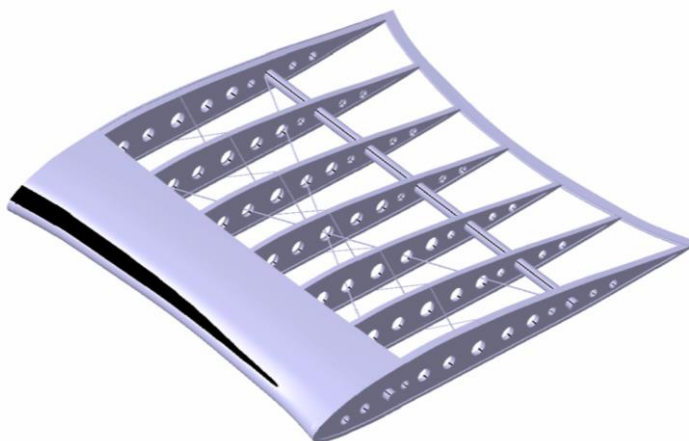


Figura 4-59 Resultado de la zona central

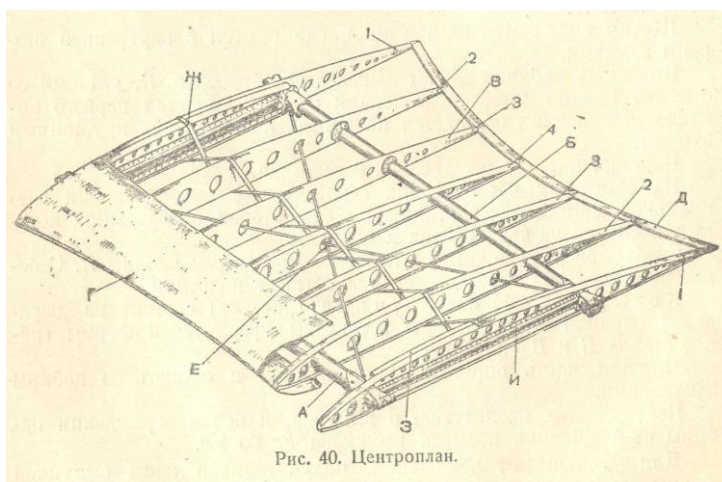


Figura 4-60 Ilustración de la zona central

## 4.2 Cola

La cola del caza I-152 es de tipo convencional, se sitúa en el extremo trasero del fuselaje y el estabilizador horizontal se encuentra posicionado en la zona inferior.

Este apartado se subdivide en dos que abarcarán el modelado de cada una de las partes que conforma la cola, el estabilizador horizontal y el estabilizador vertical. Serán de especial utilidad fotografías de la aeronave así como las ilustraciones contenidas en el manual técnico para el modelado de la estructura de los estabilizadores. Las imágenes inferiores muestran a grandes rasgos la geometría que se pretenderá modelar.



Figura 4-61 Fotografía de la cola en vuelo

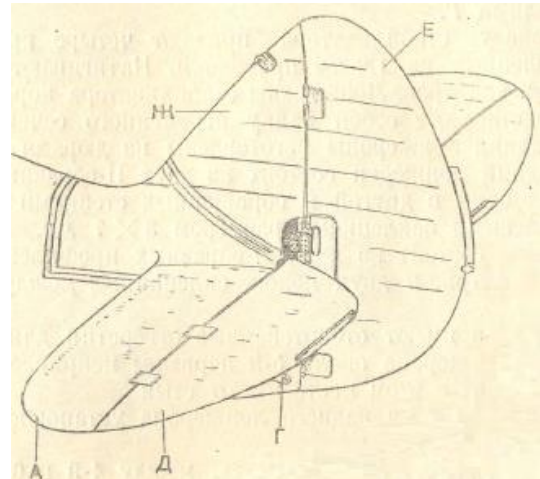


Figura 4-62 Ilustración de la cola

### 4.2.1 Estabilizador horizontal

Las medidas disponibles del estabilizador horizontal son las correspondientes a los planos generales base. Al comienzo del trabajo las acotaciones se realizaron en AutoCAD y se desarrollaron los Sketchs guías de la superficie mediante splines y líneas rectas con las medidas asociadas, algunas con pequeñas desviaciones respecto a las acotaciones para asegurar las tangencias en la curva. Las medidas que se realizaron al inicio así como la ejecución del sketch asociado se muestran en las siguientes imágenes.

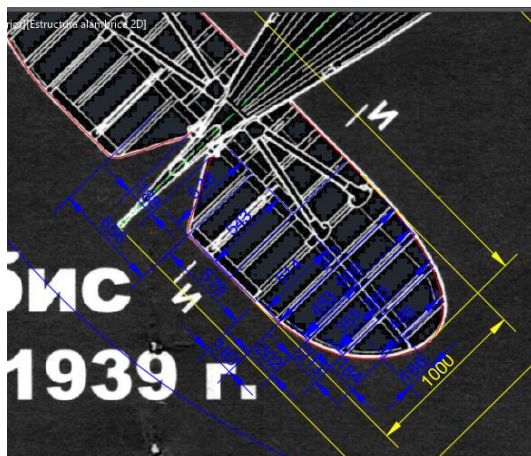


Figura 4-63 Acotaciones iniciales del estabilizador horizontal

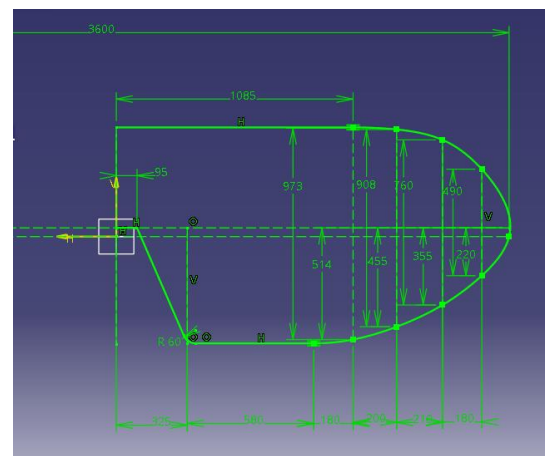


Figura 4-64 Sketch inicial del estabilizador horizontal

Posteriormente, con el objetivo de conservar lo más posible la forma original del estabilizador se repitió el proceso con Sketch Tracer considerando que el resultado sería más apropiado.

De forma adicional a la generación del sketch correspondiente a la forma en planta, se trazan otras guías relevantes de utilidad en el modelado. Estas guías adicionales ayudan a posicionar los elementos que

conforman el HTP (Horizontal Tail Plane) como las costillas, largueros y timón de profundidad.

En las imágenes inferiores se muestran los sketches realizados sobre los planos.



Figura 4-65 Sketchs del estabilizador horizontal sobre el plano

En el modelado del estabilizador se distinguen tres Bodies:

- Body 1: Costillas
- Body 2: Largueros
- Body 3: Revestimiento

#### 4.2.1.1 Body 1. Costillas

Al igual que en las superficies sustentadoras (alas), las costillas del estabilizador se modelan a partir de la solidificación de la superficie completa. Al carecer del perfil original se utiliza un perfil simétrico para poder continuar con el modelado.

Las guías y perfiles correspondientes a la multisección, así como el sólido obtenido se muestra en las siguientes imágenes:

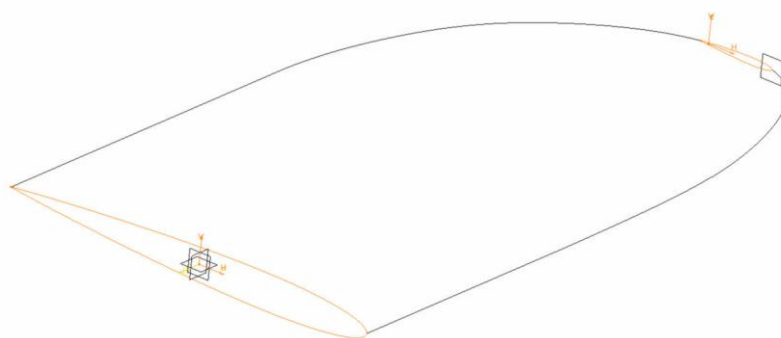


Figura 4-66 Guías y secciones base del estabilizador horizontal



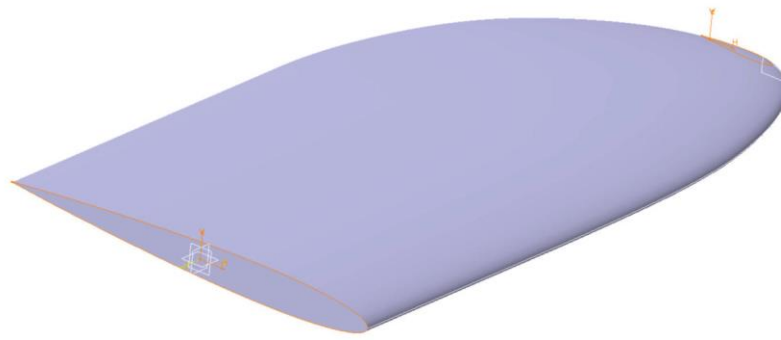


Figura 4-67 Multi-Sections Solid del estabilizador horizontal

El estabilizador consta de un timón de profundidad cuyas costillas no se encuentran alineadas con el resto. Por esta razón, para posicionar las costillas se realiza un recorte del sólido con un Pocket considerando el desvío.

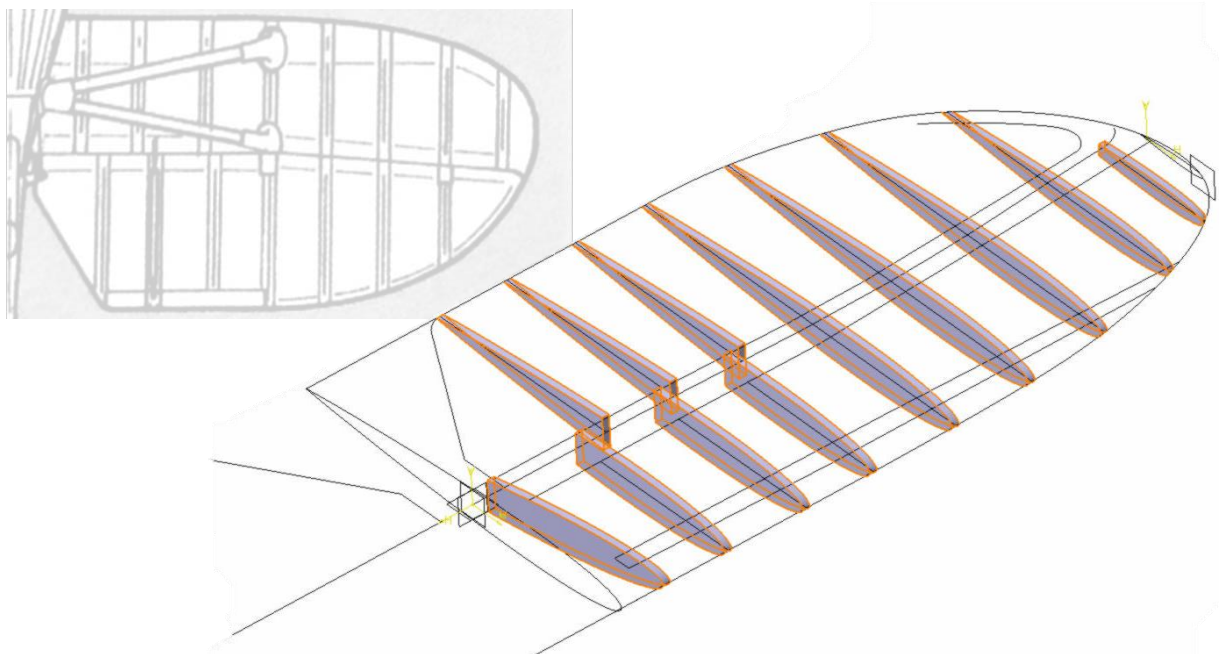


Figura 4-68 Definición y distribución de las costillas

El Pocket anterior estableció las posiciones de las costillas y fijó su espesor en 18 mm. A continuación, se perfecciona la geometría de las mismas mediante el uso conjunto de Pockets y Rectangular Pattern. Para ello, se realizan Pockets en una de las caras de las costillas empleando como sketches los Offsets correspondientes al perímetro de cada costilla. Posteriormente se desplazan dichos Pockets mediante Rectangular Pattern para crear un alma en las costillas de 11 mm de ancho.

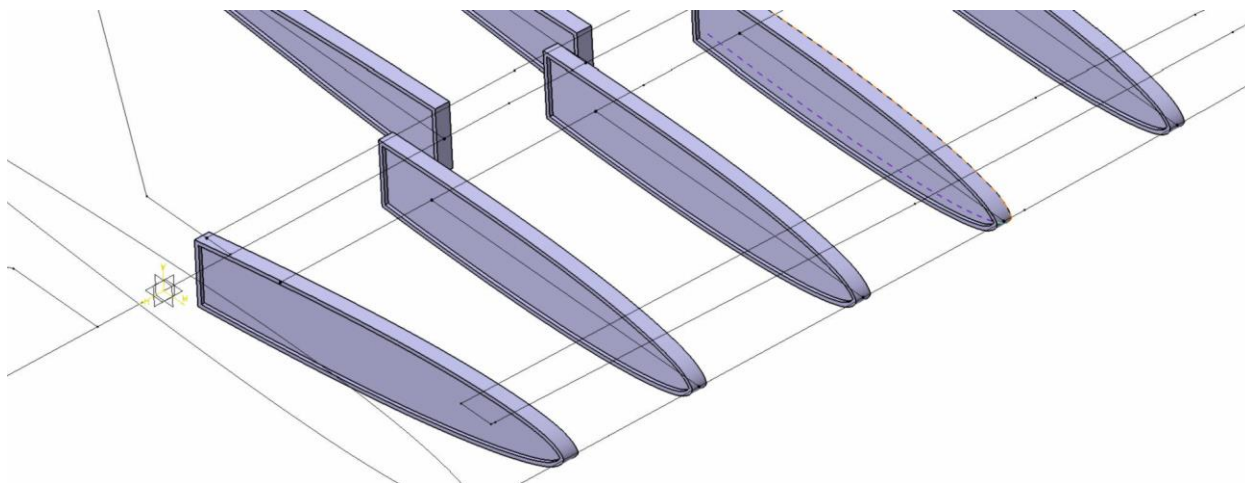


Figura 4-69 Definición de la sección en I de las costillas

En esta captura se ofrece con detalle del Rectangular Pattern empleado para conferir a las costillas de una sección en I.

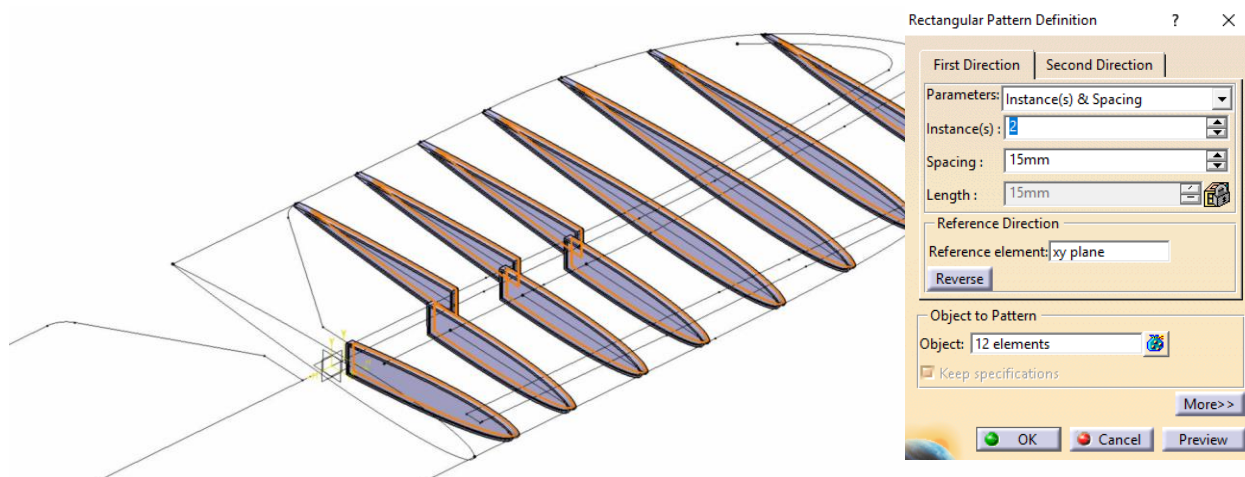


Figura 4-70 Rectangular Pattern para la definición de las secciones

Una vez posicionadas y definidas las secciones de las costillas se realizan las zonas que alojarán a los largueros y aligerarán la estructura. Las zonas que albergarán a los largueros se eliminan mediante Removed Multi-Sections Solid y los agujeros mediante la operación Multi-Pocket y Pocket.

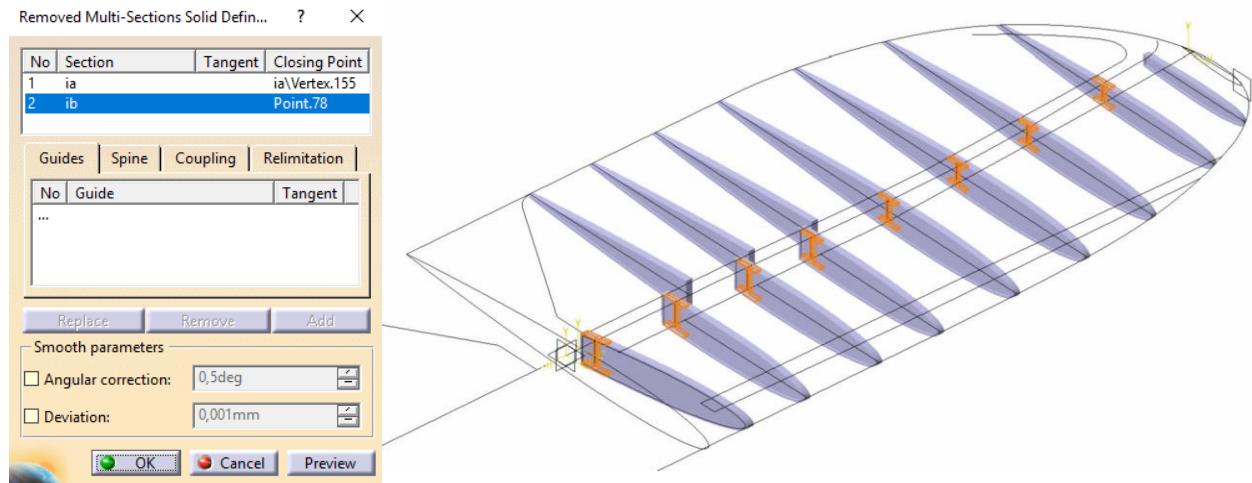


Figura 4-71 Removed Multi-Sections Solid dedicado al larguero 1

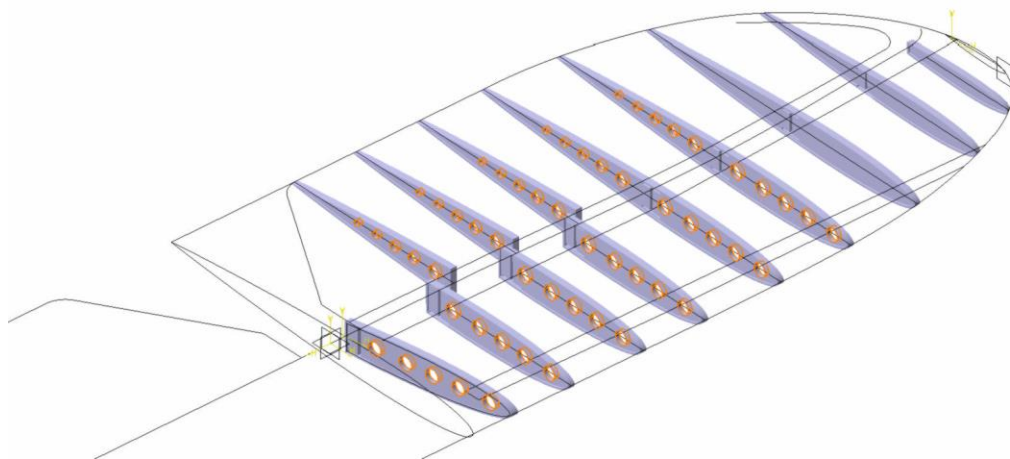


Figura 4-72 Agujeros sobre las costillas mediante Pocket

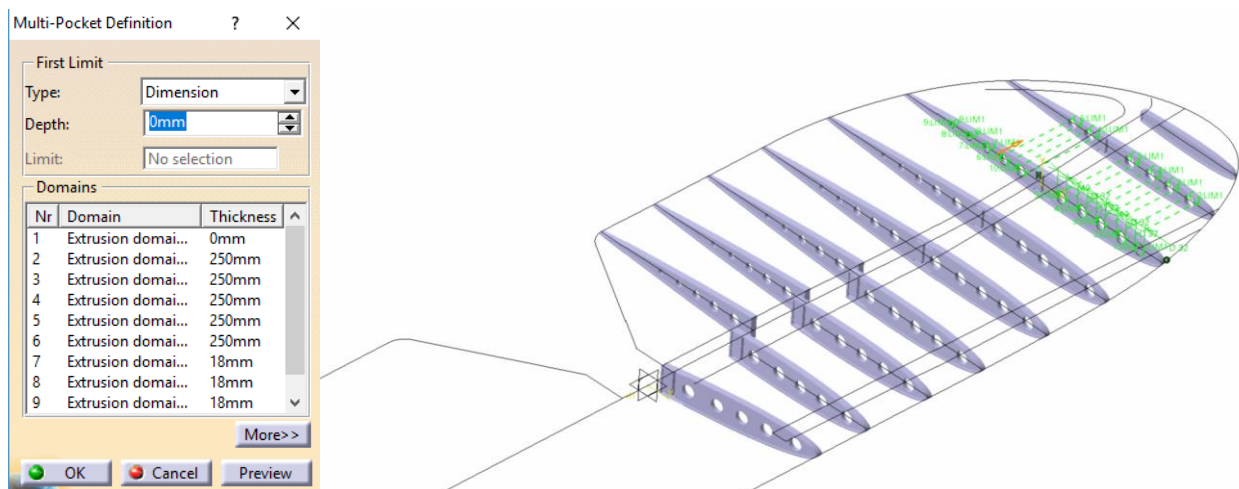


Figura 4-73 Agujeros sobre las costillas mediante Multi-Pocket

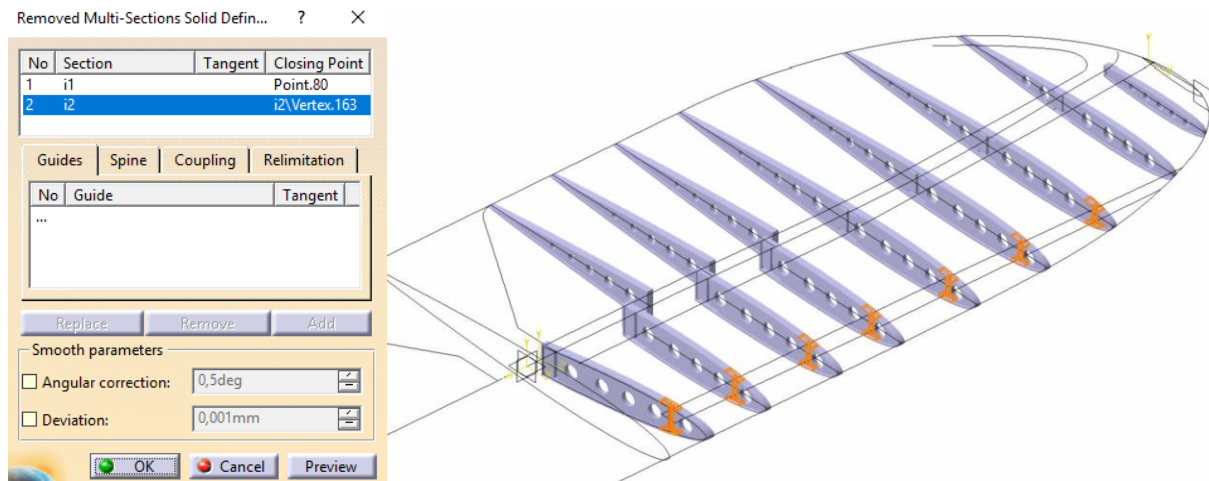


Figura 4-74 Removed Multi-Sections Solid dedicado a larguero 2

#### 4.2.1.2 Body 2. Borde y largueros

El borde que rodea las costillas se realiza igual que en las anteriores superficies, se solidifica el estabilizador y mediante un Pocket se define el borde en cuestión. Su ancho será de 25 mm al igual que en las alas.

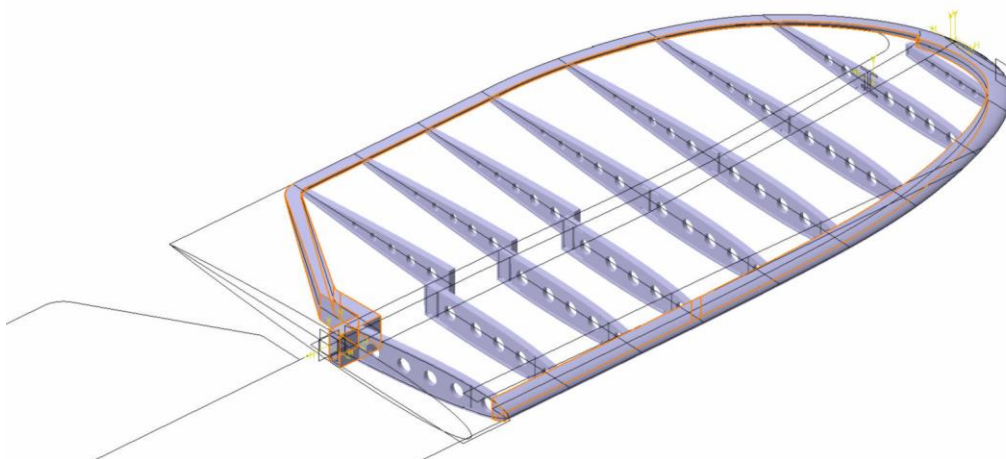


Figura 4-75 Definición del borde del estabilizador horizontal

El estabilizador consta de tres largueros, dos con una sección en I y uno de sección circular. Los dos largueros de sección en I se posicionan en las zonas anteriormente definidas con Erase Multi-sections Solid, el primero aproximadamente a la mitad de la cuerda de las costillas y el segundo cercano al borde de ataque. Cada uno se modelará con un par de multisecciones que se definirán a partir de perfiles en I definidos sobre las costillas. Para evitar que las secciones torsionen al diseñarse, se emplean guías en las zonas más conflictivas y se presta especial atención a la situación de los Closing Points y sus direcciones.



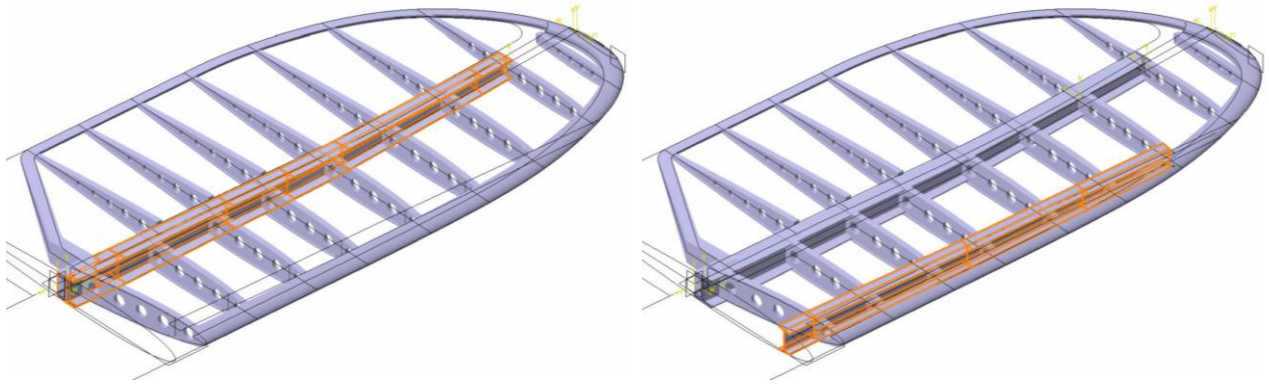


Figura 4-76 Modelado de largueros

Los largueros se encuentran perforados por agujeros que aligeran el peso de la estructura, dichos agujeros se modelarán tomando como referencia la ilustración del manual mostrado en la primera imagen inferior. Los radios considerados son de 18 mm y 20 mm, en base al resto de elementos y tratando de ser consistentes con la ilustración.

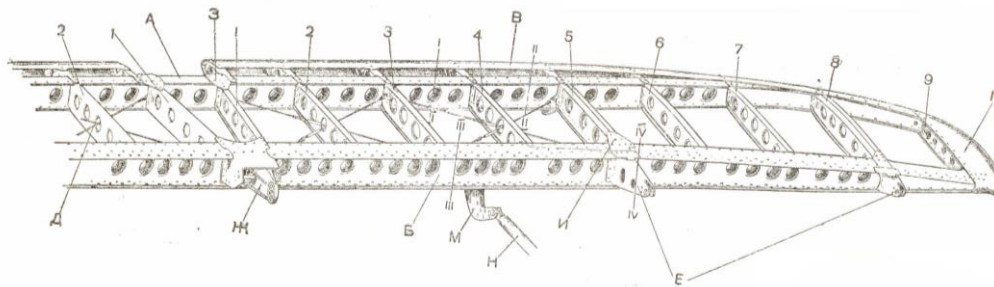


Figura 4-77 Ilustración del estabilizador horizontal

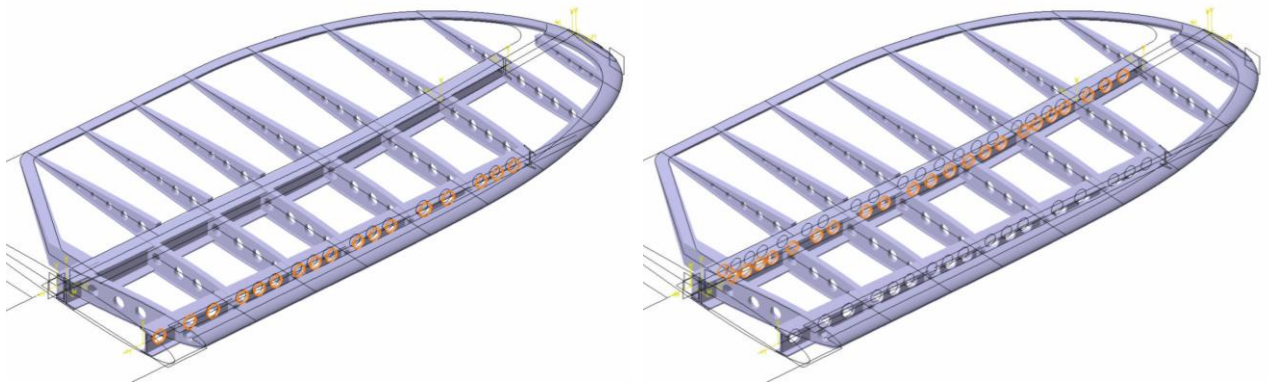


Figura 4-78 Agujeros sobre los largueros

Finalmente los dos largueros obtenidos serían los siguientes:

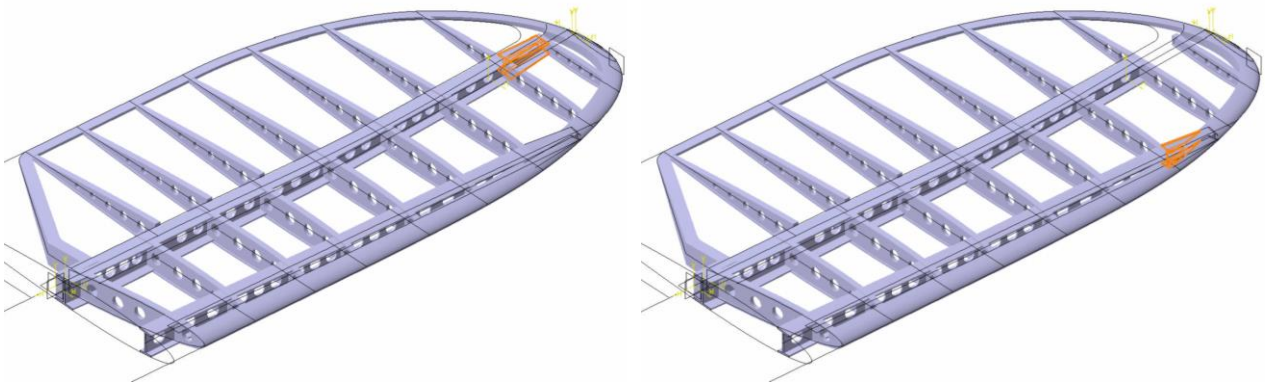


Figura 4-79 Definición completa de los largueros

El larguero circular se modela mediante dos operaciones, un Pad que se extiende hasta la penúltima costilla y una multisección desde esa costilla hasta el borde.

En primer lugar se perfora en el borde un agujero de 32 mm de diámetro en la posición definida por las guías iniciales y después se realiza el Pad correspondiente hasta la penúltima costilla.

La ilustración de referencia y las operaciones correspondientes a este larguero son las siguientes:

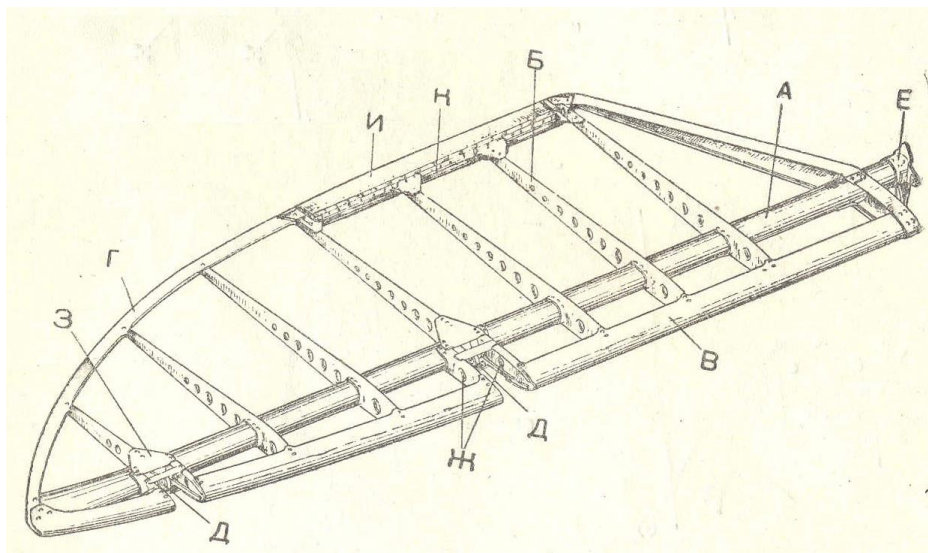


Figura 4-80 Ilustración del timón de profundidad

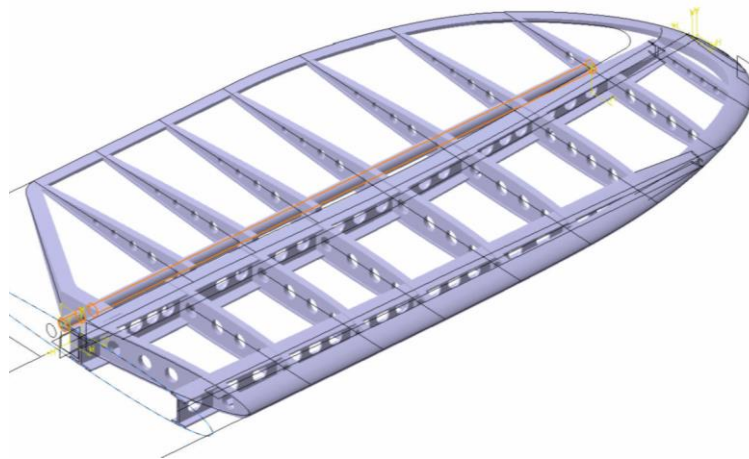


Figura 4-81 Extrusión del larguero

Tras generar la geometría principal de la mitad del estabilizador se practica simetría mediante Symmetry. El cuerpo resultante se compara una de las ilustraciones de referencia para valorar el resultado.

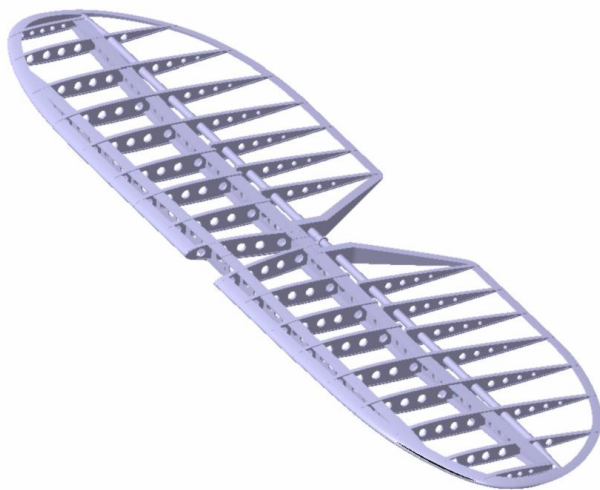


Figura 4-82 Resultado del Body 1 y 2

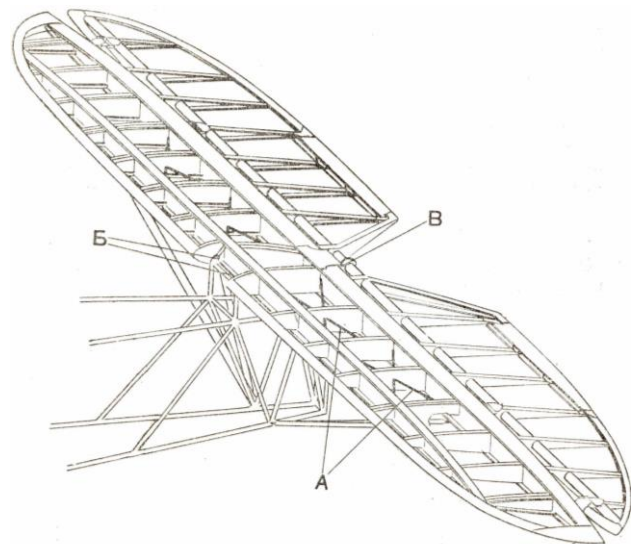


Figura 4-83 Ilustración del estabilizador horizontal

#### 4.2.1.3 Body 3. Superficie

La superficie del estabilizador horizontal se genera mediante dos Multisections Surfaces.

El primero se realiza al igual que en las alas y el Segundo se forma a partir de los mismos perfiles y guías de la primera multisección ampliando el tamaño de los mismos 4 mm en total. El revestimiento se genera definiendo la superficie conjunta que forman las dos multisecciones, cerrando la cara correspondiente mediante Fill y Join, y cerrando dicha superficie mediante Close Surface.

Las siguientes figuras muestran la evolución en el borde de ataque del modelado paso a paso.

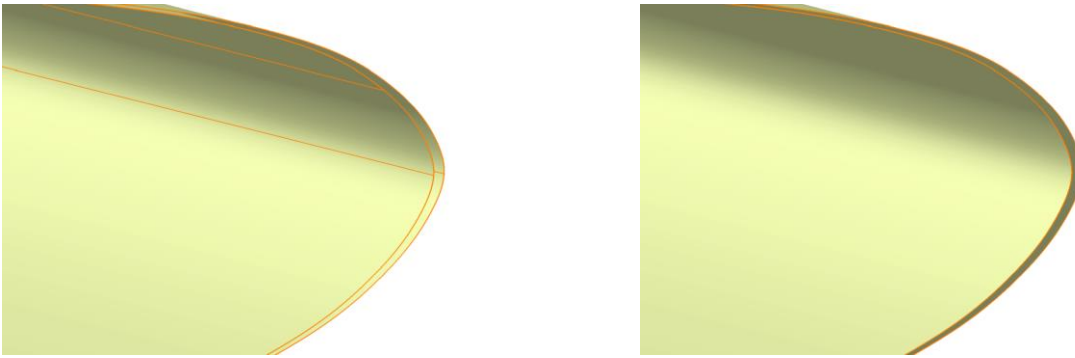


Figura 4-84 Definición de la superficie del estabilizador horizontal

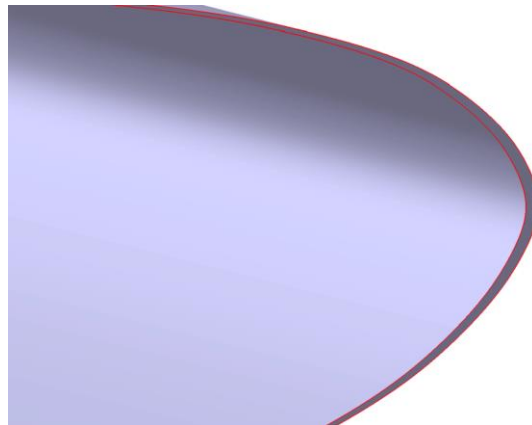


Figura 4-85 Detalle del espesor del revestimiento

Mediante la operación Mirror se forma la mitad restante del revestimiento del estabilizador.

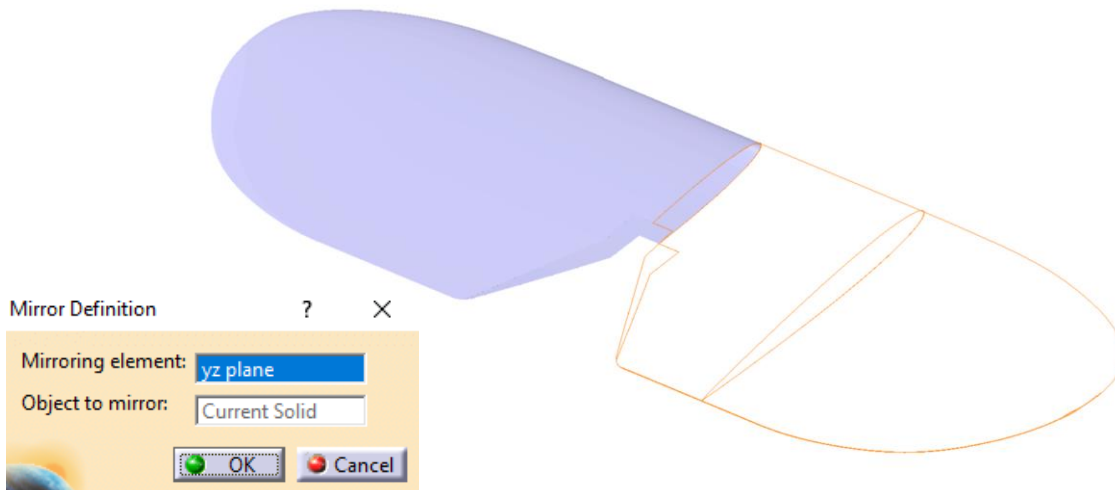


Figura 4-86 Mirror sobre el revestimiento



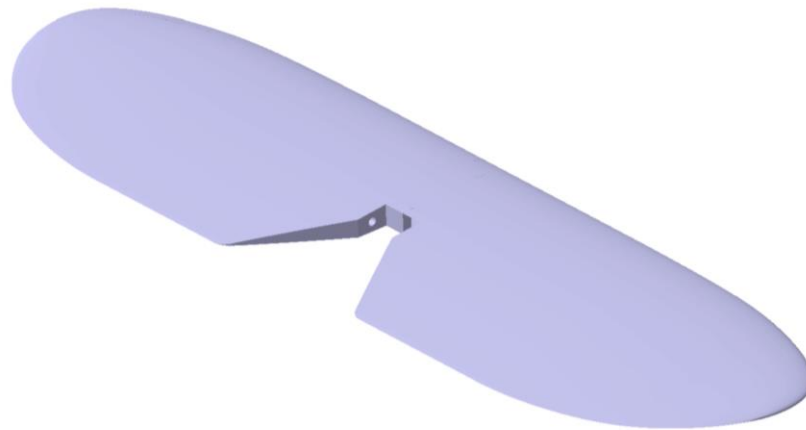


Figura 4-87 Resultado del revestimiento del estabilizador horizontal

#### 4.2.2 Estabilizador vertical

El proceso seguido en el modelado del estabilizador vertical es similar al del estabilizador horizontal. Los datos de partida son escasos de nuevo, por tanto las medidas generales de cada elemento se toman de los planos de referencia y la proporción entre ellos se deduce de las ilustraciones del manual. Al igual que con HTP, los primeros sketch guías fueron realizados a partir de acotaciones mediante AutoCAD de forma manual y se modeló parte del VTP (Vertical Tail Surface). A pesar de ello, se decide repetir el modelado para perfeccionar la geometría mediante el empleo de Sketch Tracer comenzando de nuevo sobre una base de guías nuevas más precisa que la inicial.

En las siguientes imágenes se muestran las principales mediciones iniciales y en último lugar el sketch obtenido sobre el plano que fue el empleado en el modelado.

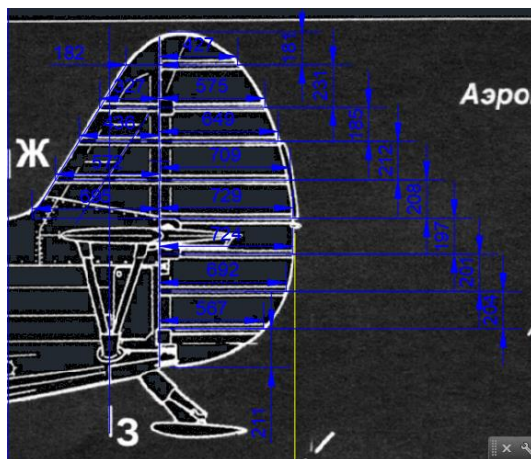


Figura 4-88 Acotaciones iniciales del estabilizador vertical

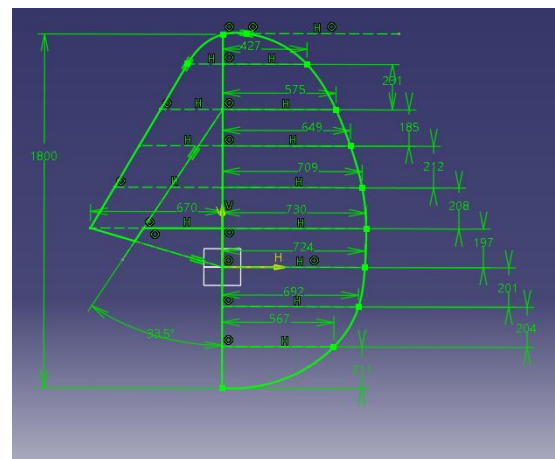


Figura 4-89 Sketch inicial del estabilizador vertical

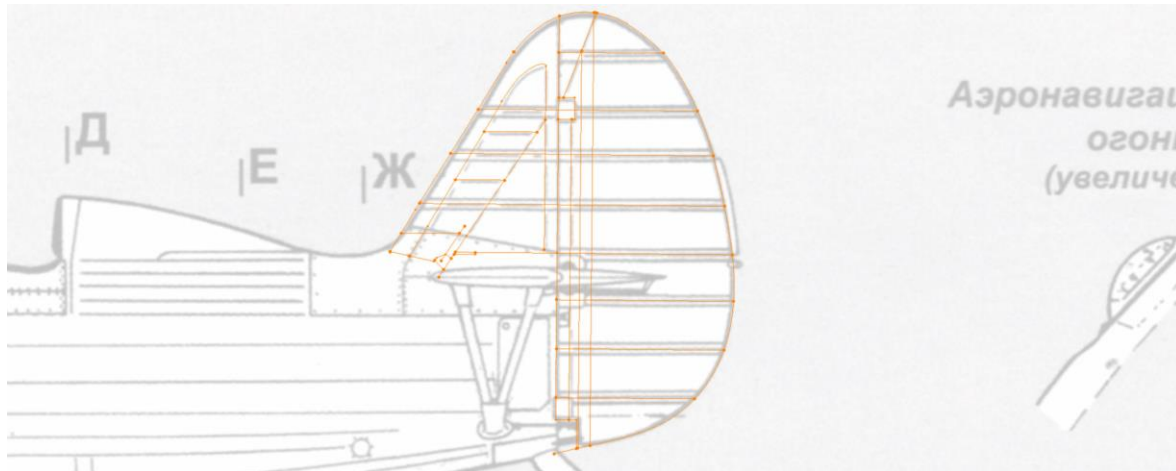


Figura 4-90 Sketch sobre el plano del estabilizador vertical

Para realizar la superficie es necesario conocer el tipo de perfil empleado y sus coordenadas pero ésto es una incógnita. Para poder continuar se recurre a la vista en planta del avión donde se aprecia la forma del perfil. Del mismo modo que se generó el sketch guía anterior mediante Sketch Tracer, se traza el perfil mediante el uso de splines.

El sketch destacado en naranja que se muestra en la siguiente ilustración será el perfil que se emplee en el modelado.



Figura 4-91 Perfil del estabilizador vertical

Podemos dividir el proceso completo en tres Bodies principales, éstos son:

- Body 1: Revestimiento
- Body 2: Costillas y larguero principal
- Body 3: Borde y largueros

#### 4.2.2.1 Body 1. Revestimiento

Las vistas correspondientes a la planta inferior y superior de la aeronave facilitan el planteamiento a seguir para definir la forma del estabilizador vertical y con ello la de su superficie. Se decide dividir en dos el modelado de la superficie en base a los planos disponibles. Para ello, partiendo del perfil trazado se realizan dos multisecciones, una definirá la zona superior y la otra la inferior como se muestra a continuación. Las guías empleadas son las definidas anteriormente.

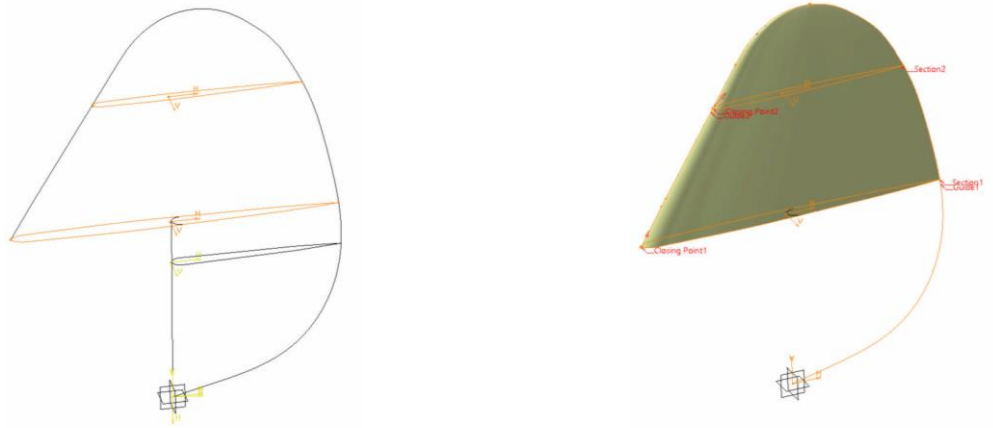


Figura 4-92 Definición de la superficie superior del estabilizador vertical

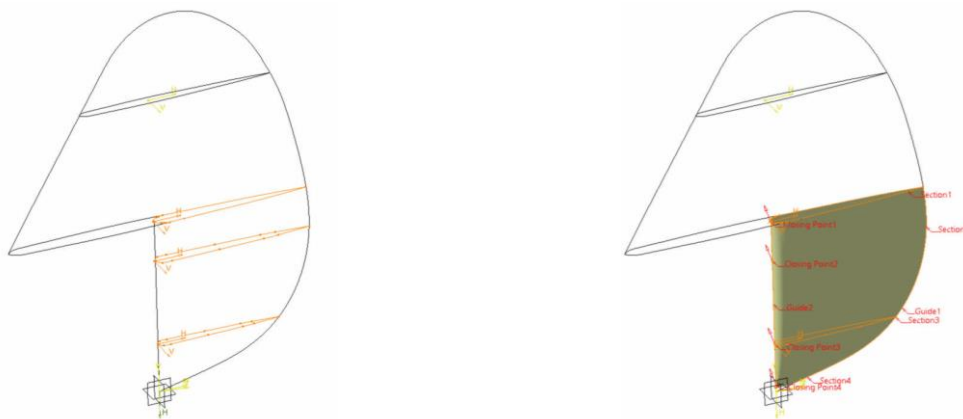


Figura 4-93 Definición de la superficie inferior del estabilizador vertical

Una vez generada la superficie del estabilizador vertical se aplica espesor a ella para construir el revestimiento.

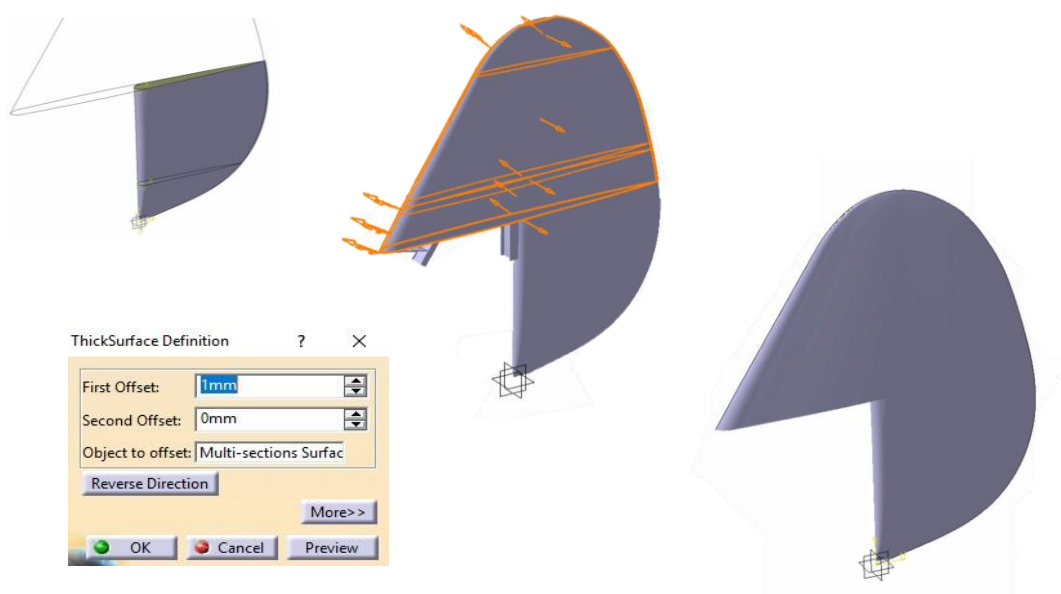


Figura 4-94 ThickSurface sobre la superficie del estabilizador vertical



#### 4.2.2.2 Body 2. Costillas y larguero principal

La disposición de las costillas, así como algunas medidas principales del estabilizador se muestran en ilustraciones contenidas en el manual, además gracias a la foto de una réplica construida del I-15 se trabaja con una base relativamente sólida en el modelado.



Figura 4-95 Fotografía de cola de una réplica del I-15

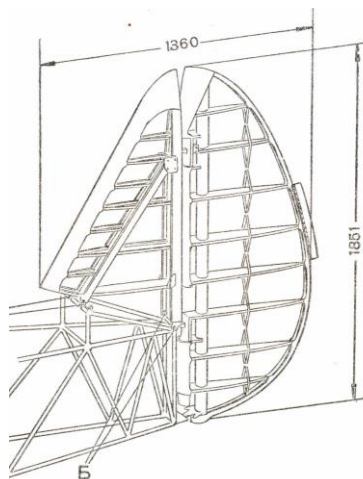


Figura 4-96 Ilustración del estabilizador vertical

Como se advierte en las imágenes, la zona fija del estabilizador que cuenta con un larguero inclinado con sección en I consta de tres costillas íntegras y al menos seis no completas. Para realizar las costillas primero se extruye el sólido completo mediante Multi-sections Solid y después se posicionan las costillas fijando sus espesores mediante un Pocket.

El resultado de la operación es el siguiente.

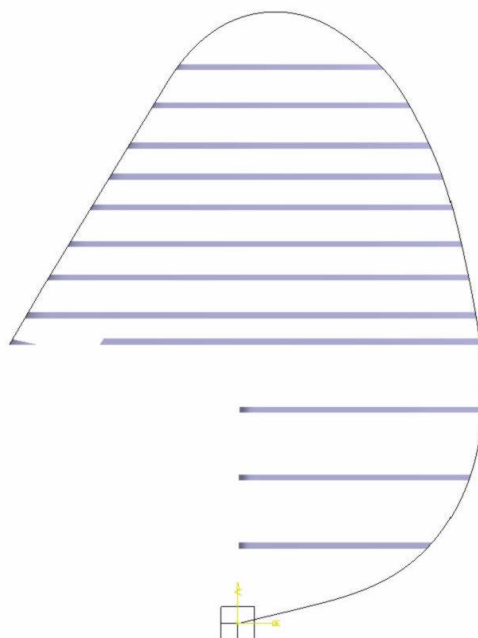


Figura 4-97 Definición y distribución de las costillas

La sección de las costillas es en I, por tanto, para perfeccionar su forma se procede igual que se hizo en el HTP. En primer lugar, se realizan Pockets en una de las caras de las costillas empleando como sketches los Offsets aplicados al perímetro de cada una de ellas. Posteriormente se seleccionan todos los Pockets realizados y mediante Rectangular Pattern se trasladan hacia la cara opuesta.

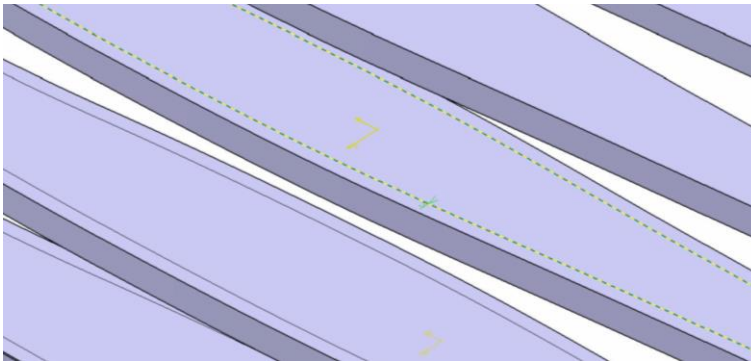


Figura 4-98 Ejemplo de Offset sobre el perímetro de la costilla

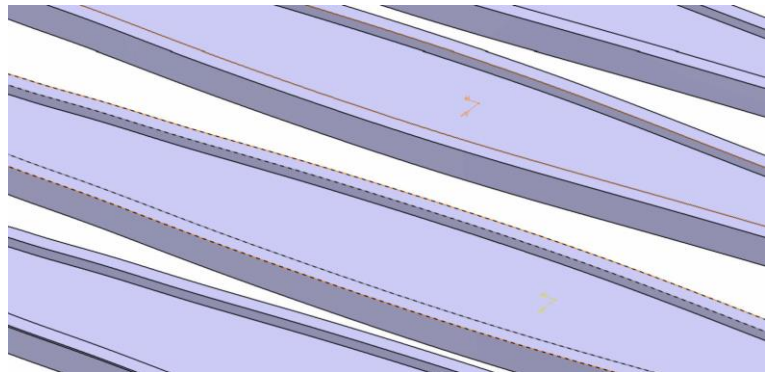


Figura 4-99 Detalle de los perfiles en I

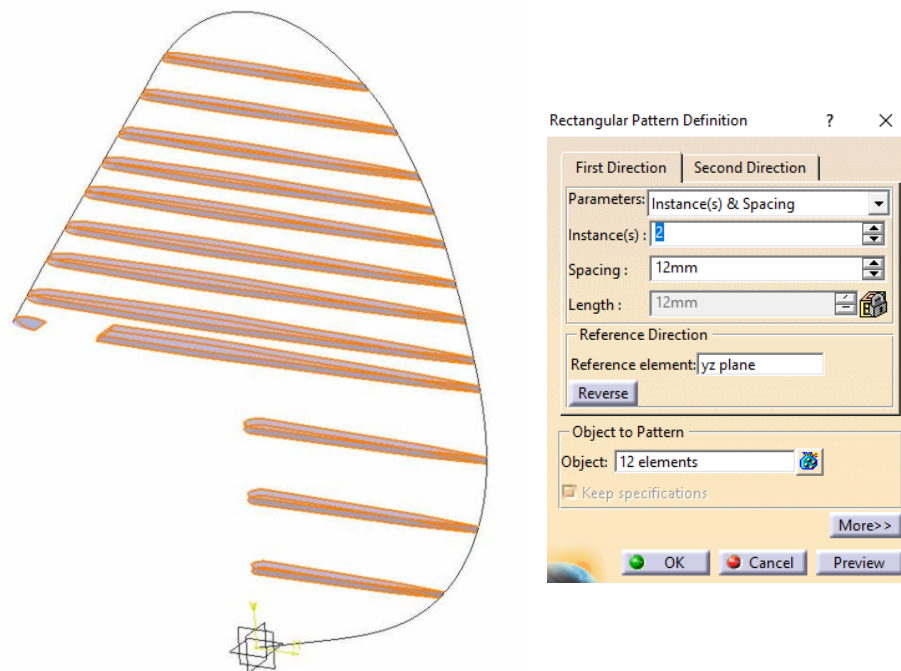


Figura 4-100 Rectangular Pattern asociado a los perfiles en I

El total de costillas modeladas es superior al real por tanto, una vez definidas las secciones en I de las costillas se eliminan las partes de aquellas costillas que se encuentran solo en la zona fija del estabilizador.

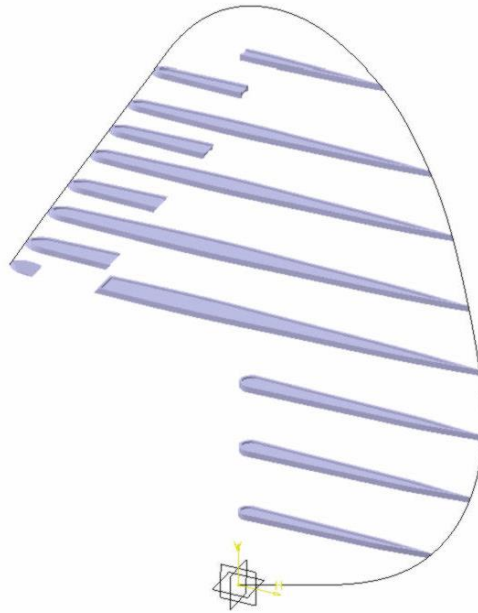


Figura 4-101 Distribución final de las costillas

En este Body se diseña también el larguero principal. La sección central se construirá mediante un Pad definido por una sección circular de 18 mm de radio obtenida a partir de los planos y los extremos se modelarán con Multi-Sections Solid ya que las secciones finales serán elipses construidas a partir de la intersección de los perfiles con los planos finales correspondientes a los extremos.

El proceso es el que se muestra a continuación.

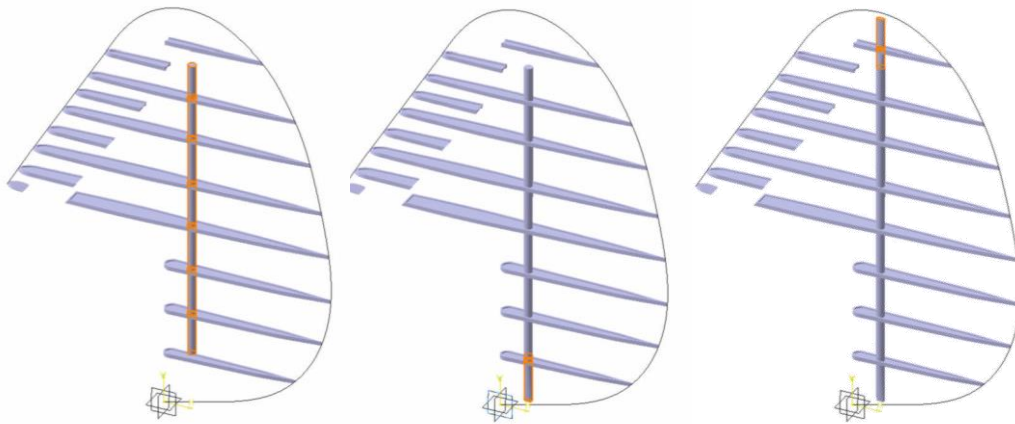


Figura 4-102 Modelado del larguero principal

Por último, se realizan los agujeros de las costillas tratando de asemejarlos lo mayor posible a las ilustraciones encontradas. Para tratar de economizar el número de Pockets necesarios se realizan dos Multipockets, que son los mostrados en las siguientes imágenes, y un Pocket en la costilla superior.

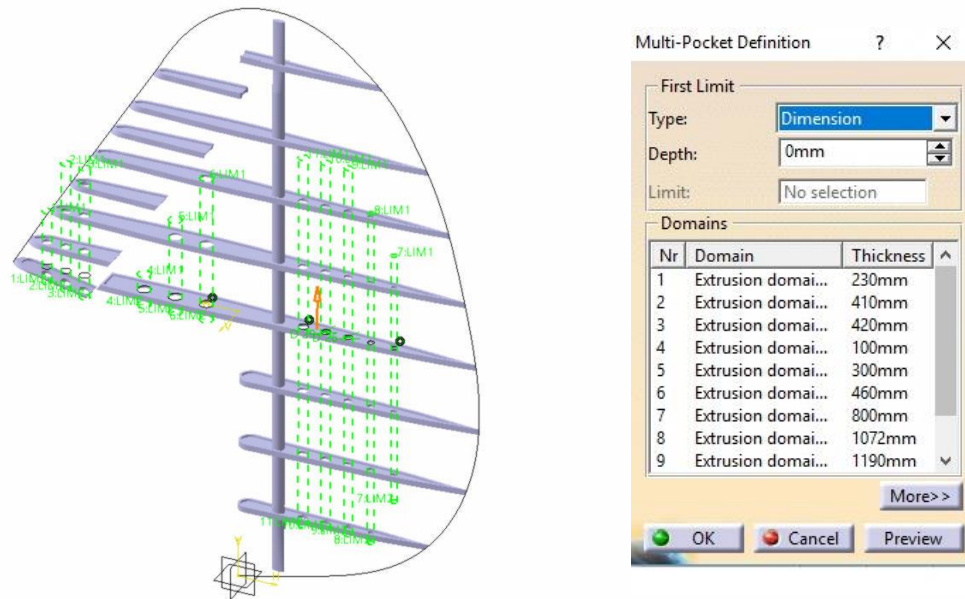


Figura 4-103 Multi-Pocket 1 sobre las costillas

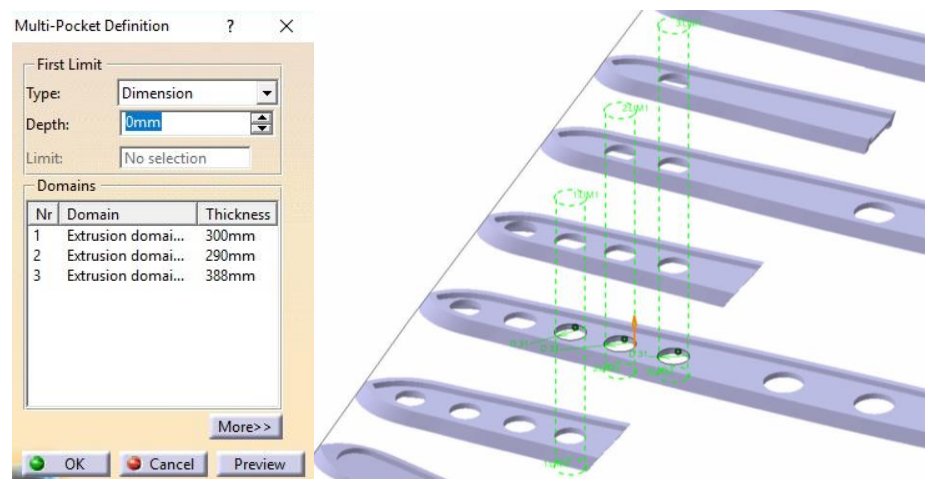


Figura 4-104 Multi-Pocket 2 sobre las costillas

#### 4.2.2.3 Body 3. Borde y largueros

El borde del estabilizador se obtiene aplicando un Pocket al del sólido completo con la forma del mismo obtenida de los planos.

En los siguientes alzados se muestra la operación.

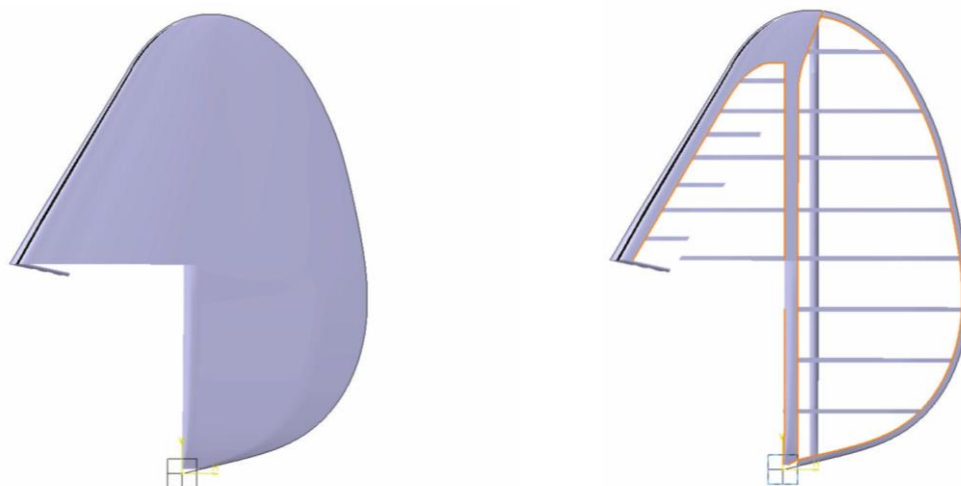


Figura 4-105 Definición del borde

Además de emplear los planos generales, las siguientes ilustraciones han sido especialmente útiles en el modelado correspondientes a la parte fija del estabilizador vertical y al rudder respectivamente.

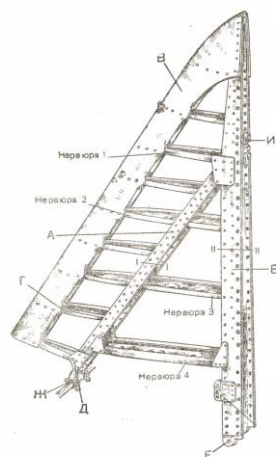


Figura 4-106 Ilustración estabilizador vertical

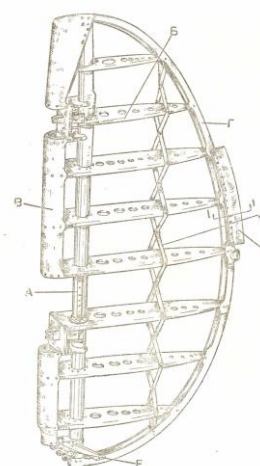


Figura 4-107 Ilustración del timón de dirección

Los largueros son los elementos restantes a modelar en el estabilizador.

Son dos, se encuentran en la parte fija del estabilizador y sus secciones son en I. Para modelarlos se emplea la operación Multi-Sections Solid posicionando los skechs que los definen en los planos correspondientes. El larguero inclinado es el que se muestra en primer lugar y está formado por dos multisecciones como puede apreciarse. En último lugar se genera el larguero vertical empleando tres skechs de secciones en I que decrecen de forma progresiva y cuatro guías para evitar cualquier tipo de torsión en el proceso.



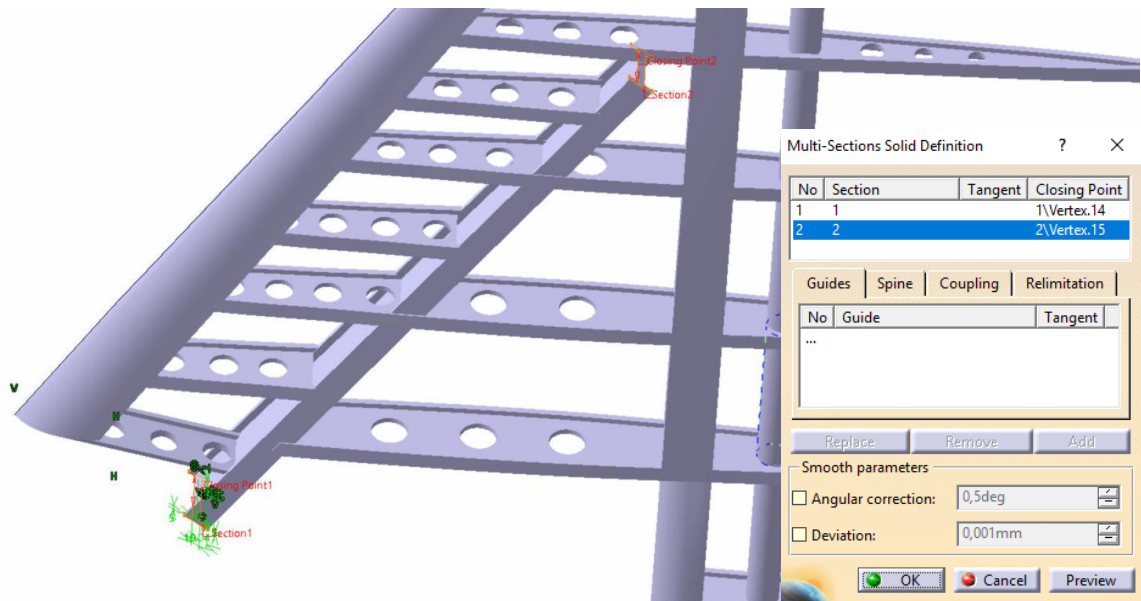


Figura 4-108 Multi-Sections Solid inicial dedicado a larguero

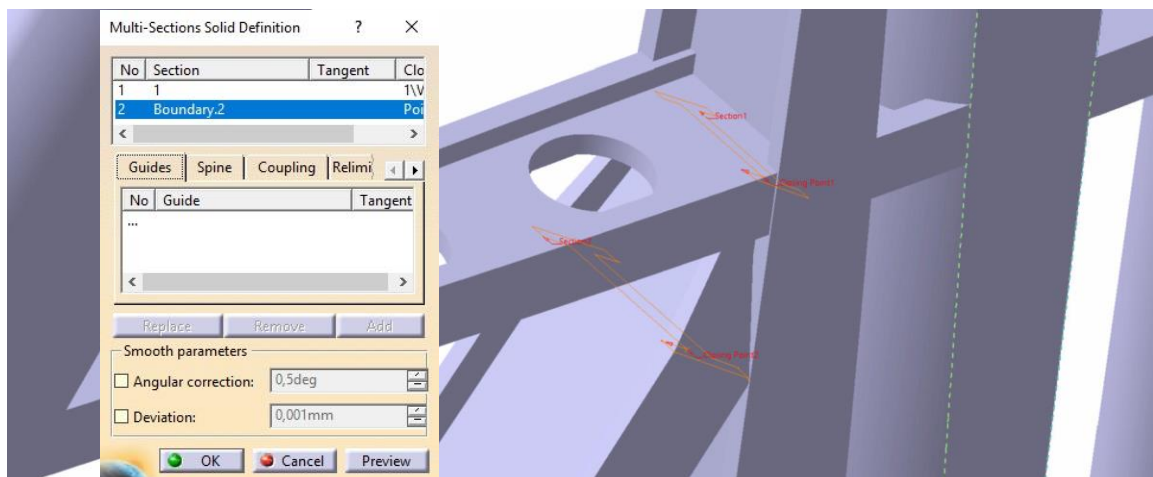


Figura 4-109 Multi-Sections Solid final dedicado a larguero

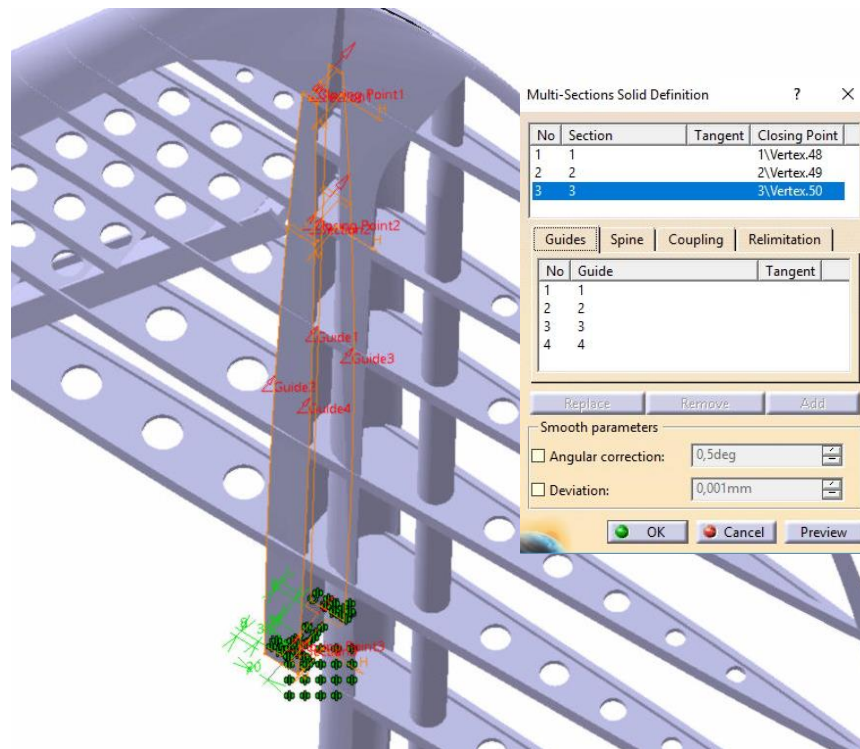


Figura 4-110 Multi-Sections Solid dedicado al larguero vertical

### 4.3 Fuselaje

El fuselaje del Polikarpov I-152 presenta una estructura similar al modelo I-15, las mayores variaciones se encuentran en el revestimiento que cubre la estructura y el motor. Los materiales empleados fueron acero y duraluminio para la estructura principal y tejidos para recubrimientos. El fuselaje es el nexo de unión de los elementos que conforman a la aeronave, en su zona trasera se acopla la cola y en la delantera, en el morro, se alberga el motor. Tras las alas se posiciona la cabina del piloto que también será modelada.

Para su reconstrucción se modelan los siguientes Bodies:

- Body 1: Estructura
- Body 2: Revestimiento
- Body 3: Asiento del piloto

#### 4.3.1 Body 1. Estructura

La estructura del fuselaje está compuesta por tubos, la mayoría de ellos soldados entre sí, y se divide en cuadernas, largueros y refuerzos diagonales que le proporcionan rigidez. Para modelar el fuselaje, y en especial este Body, se ha empleado el segundo plano de referencia para realizar las acotaciones.

Este plano muestra con claridad el perfil de la estructura interna así como la distribución de los tubos que será clave en el modelado. Sin embargo, serán necesarios otros documentos de apoyo al carecer del resto de vistas de la estructura. Gracias a las ilustraciones del manual, fotografías históricas y un vídeo que reúne algunos de los pasos seguidos en la construcción de una réplica del modelo, es posible plantear el modelado de forma más veraz.



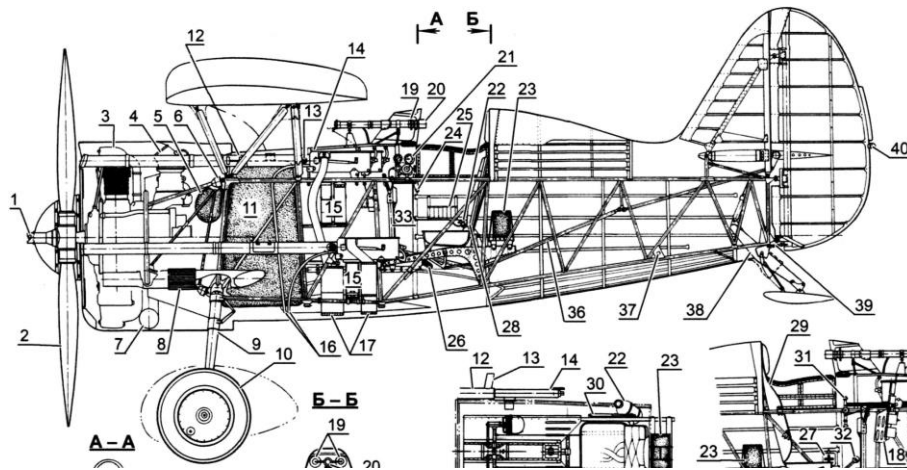


Figura 4-111 Perfil detallado de la estructura

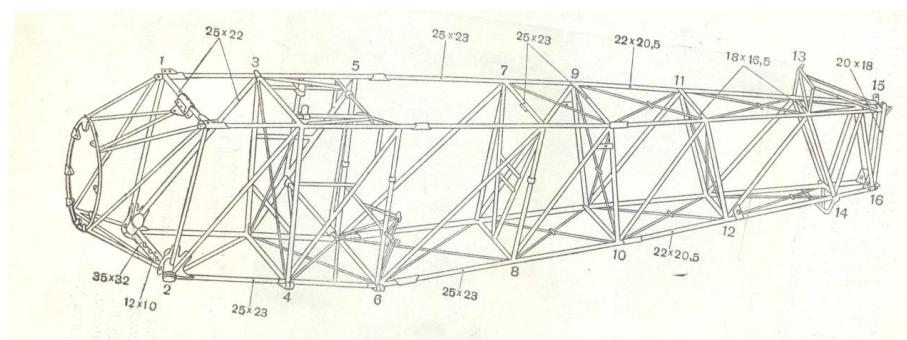


Figura 4-112 Ilustración de la estructura del fuselaje

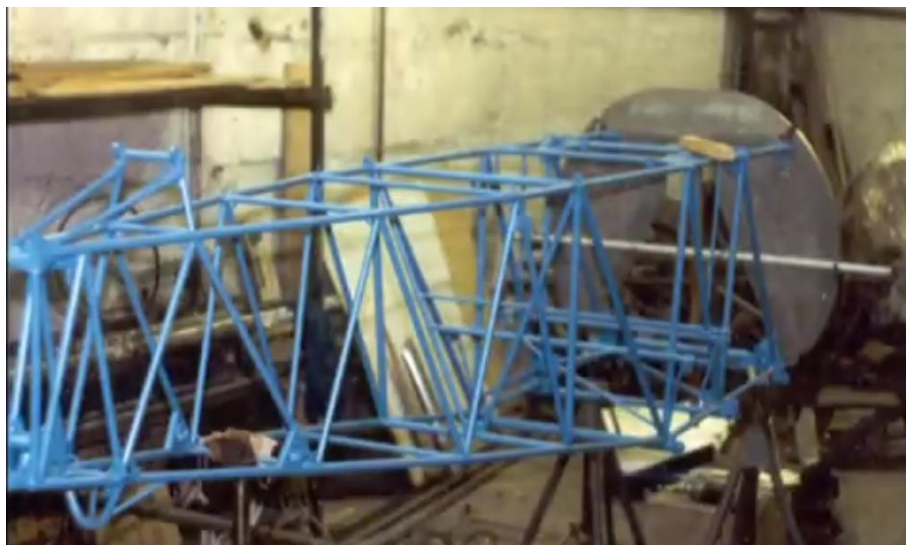


Figura 4-113 Captura de video sobre la construcción de una réplica

En primer lugar, se realizan las cuadernas con sus respectivas inclinaciones. Para ello se realizan las acotaciones de los ángulos y distancias entre los planos que las contienen y se realizan sobre ellos los sketches guías que definirán sus geometrías. La inclinación de los planos respecto al plano vertical oscila entre los 24.42 grados y los 3.72 grados, el resultado es el siguiente:

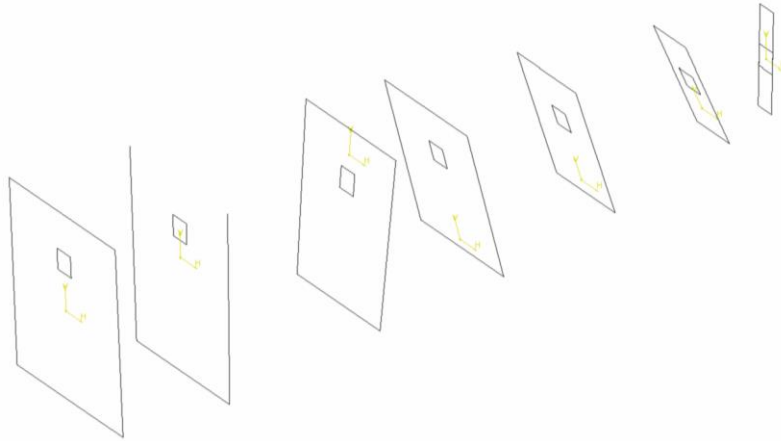


Figura 4-114 Posicionamiento y definición de planos y sketches principales

Con el fin de simplificar las futuras intersecciones entre los tubos, las secciones no serán coronas concéntricas sino secciones circulares, es decir, se modelarán como barras.

En la figura 4-110 se muestran los diámetros internos y externos de la estructura original, las secciones varían desde 20x18mm en la zona cercana a la cola hasta 35x32mm en la zona del motor. Por simplicidad, el diámetro con el que se modelará la estructura será de 20 mm excepto en la zona delantera del motor donde se trabajará con barras de 33 mm de diámetro.

Una vez fijada la geometría de las secciones mediante Sketchs de circunferencias perpendiculares y concéntricas a las guías, se emplea la operación Rib en cada una de las cuadernas.

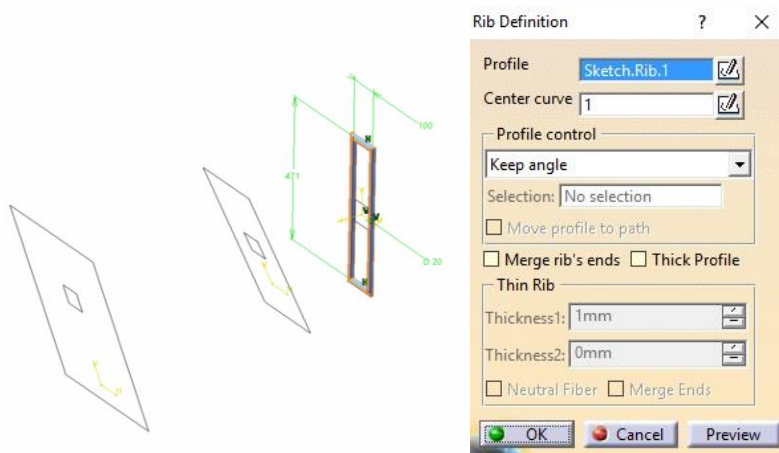


Figura 4-115 Rib de la primera cuaderna

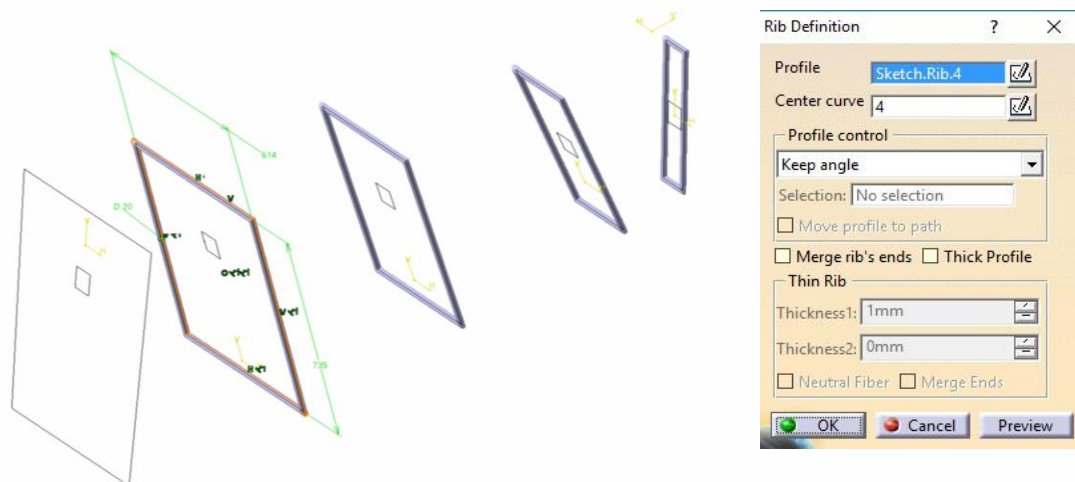


Figura 4-116 Rib de la cuarta cuaderna

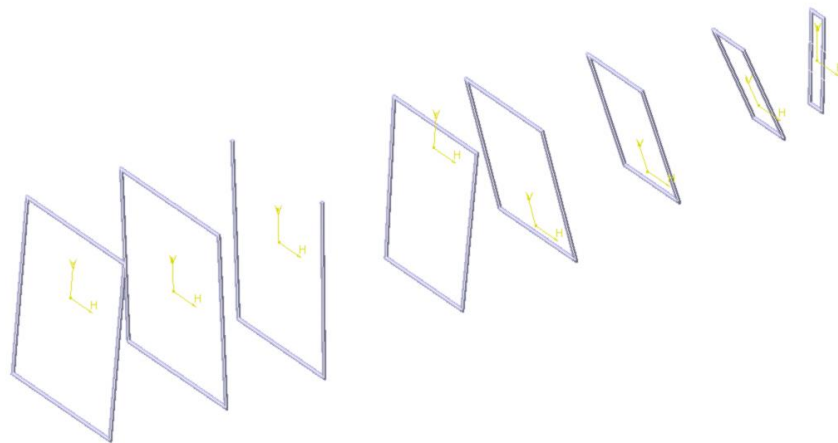


Figura 4-117 Resultado de las cuadernas

El siguiente paso consiste en modelar los largueros inferiores y superiores mediante el uso de Pads. Para ello se realizan sketches perpendiculares a las guías con la sección circular establecida.

Las siguientes ilustraciones muestran un resumen del proceso seguido incluyendo la definición de las guías y un ejemplo del Pad empleado.

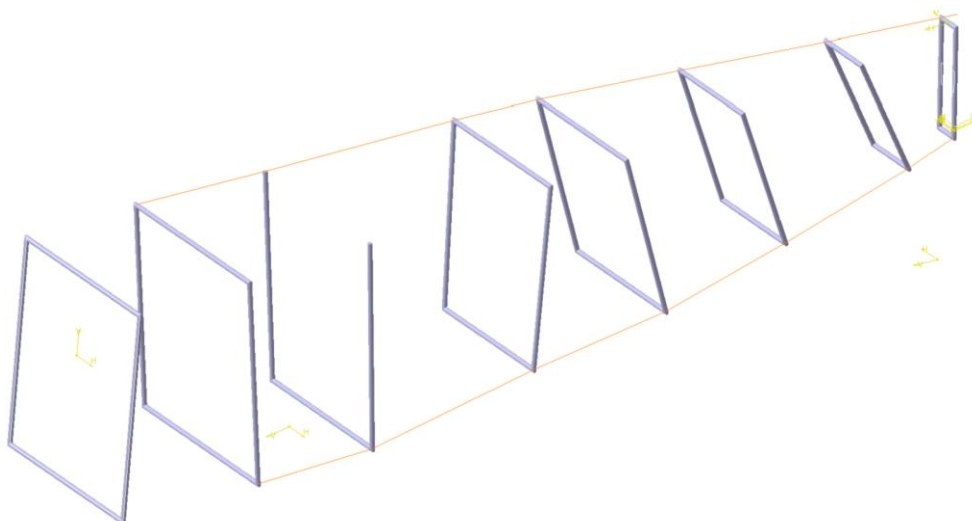


Figura 4-118 Definición de las guías superior e inferior

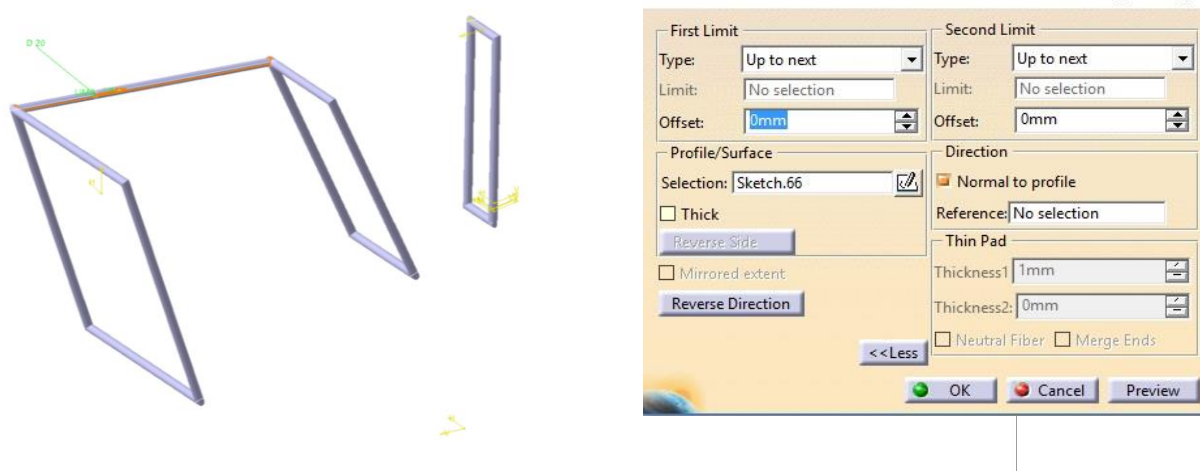


Figura 4-119 Detalle de Pad empleado

Posteriormente, se modelan los refuerzos diagonales con el mismo tipo de sección y los cordones cruzados en la zona inferior caracterizados por una sección circular de 10mm de diámetro.

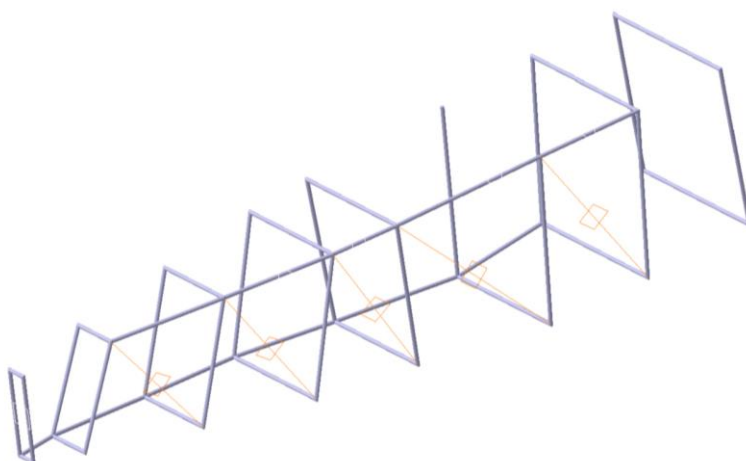


Figura 4-120 Definición de guías dedicadas a las diagonales

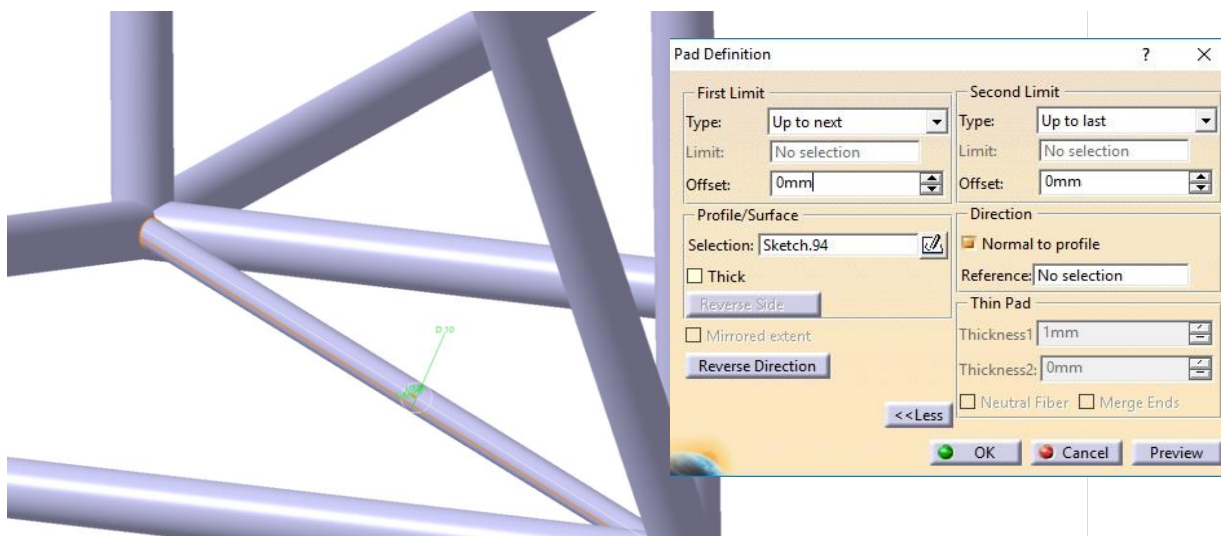


Figura 4-121 Detalle de Pad empleado en los refuerzos inferiores



La elección Up to last en el segundo límite del Pad se indica para que una vez aplicado Mirror a las barras, la geometría se reproduzca íntegramente.

Las secciones restantes son las correspondientes a la cola y la zona del motor. De nuevo se emplea la operación Rib para solidificar las cuerdas y Pad para generar los largueros y refuerzos diagonales.

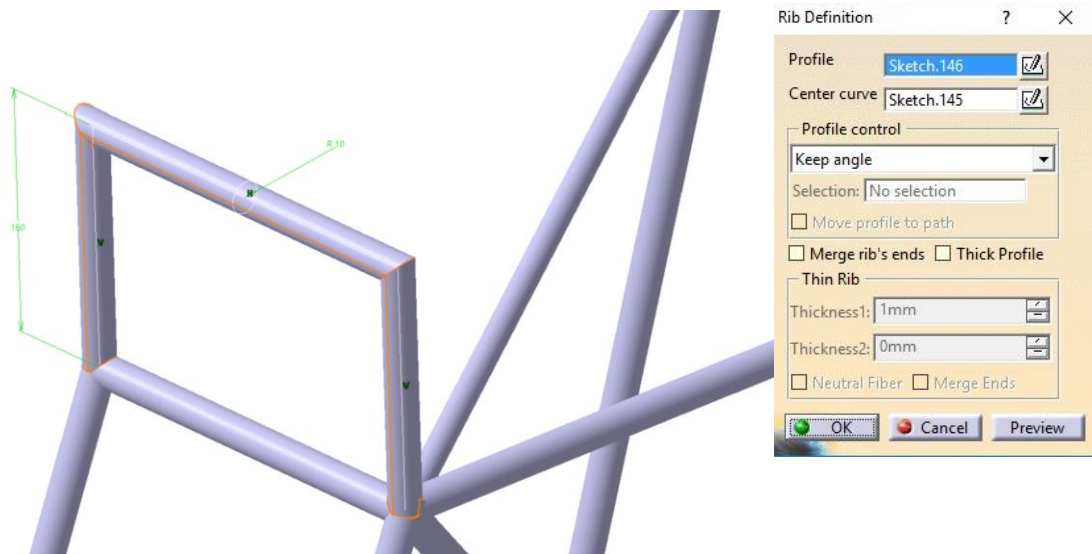


Figura 4-122 Detalle de Rib empleado en la zona posterior

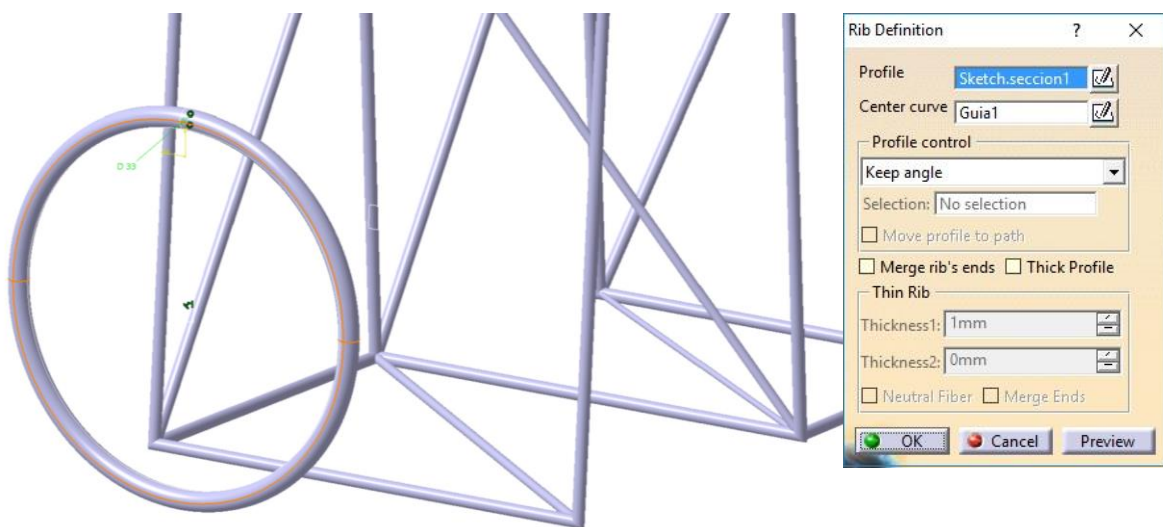


Figura 4-123 Detalle de Rib empleado en la zona frontal

Finalmente, la operación Mirror permitirá reducir el número de operaciones necesarias en el modelado. Seleccionando las barras implicadas e indicando como Mirroring element el plano perpendicular zx se obtiene la siguiente geometría.



Una vez modelada la estructura del fuselaje se comenzó a emplear la herramienta Sketch Tracer en el modelado del resto de elementos de la aeronave. En el fuselaje en concreto se empleó para perfeccionar la estructura, pudiéndose corregir algunos pequeños errores correspondientes a las distancias entre planos.

La configuración final se muestra en la siguiente imagen.

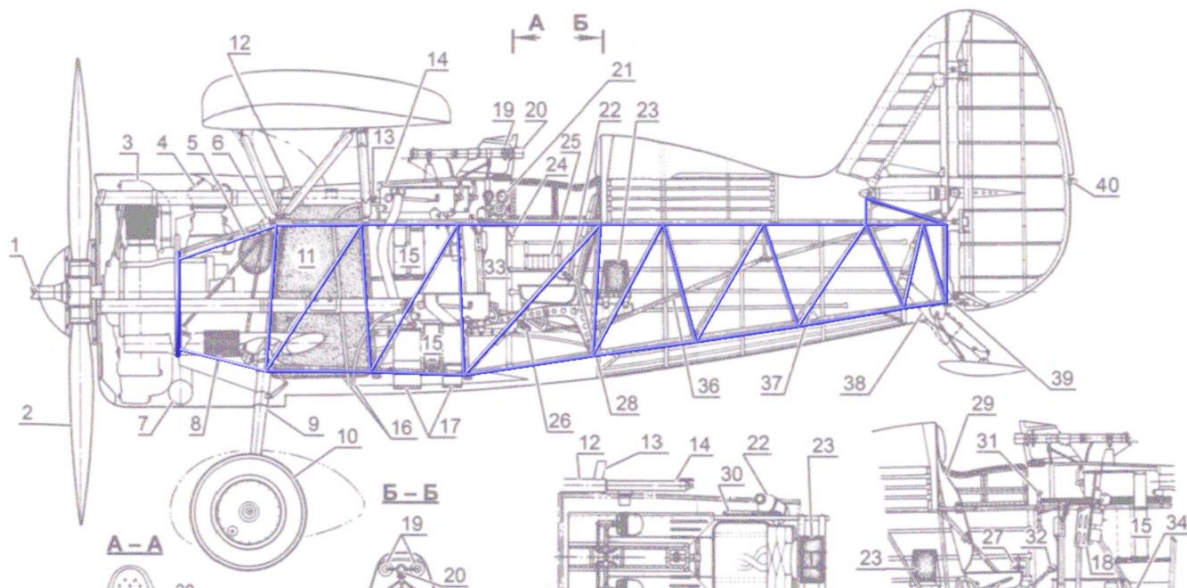


Figura 4-127 Perfil de la estructura modelada sobre el plano escalado

#### 4.3.2 Body 2. Revestimiento

En el modelado del revestimiento para generar la geometría se han empleado dos módulos principalmente. Mediante el módulo Generative Shape Design se genera la geometría de la superficie y posteriormente se le asigna espesor con el módulo Part Design.

El revestimiento de la aeronave se ha formado mediante multisecciones y para ello se han empleado los cortes del fuselaje que facilitan los planos. Las secciones necesarias en la operación Multi-Sections Surface se han definido mediante el módulo Sketch Tracer sobre los planos y trasladado en un Geometrical Set al Part dedicado al fuselaje. Las guías necesarias en la operación son cuatro y se encuentran distribuidas aproximadamente 90 grados entre sí, sus geometrías se obtendrán de nuevo sobre los planos.

La geometría fundamental empleada en el modelado del revestimiento se incluye en las imágenes inferiores.

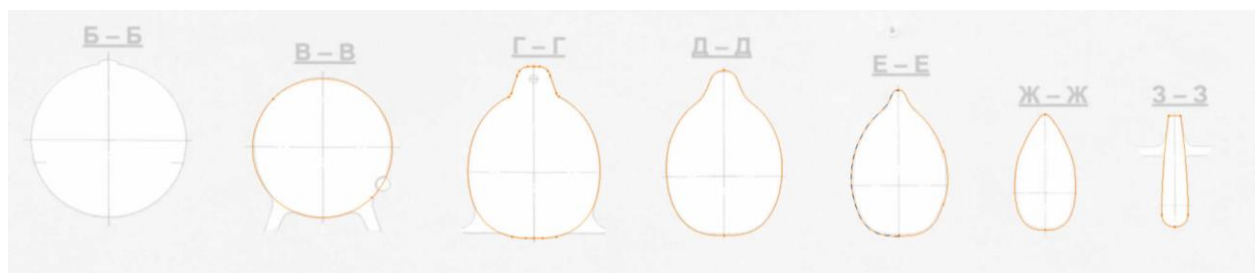


Figura 4-128 Sketchs de los cortes del fuselaje empleados



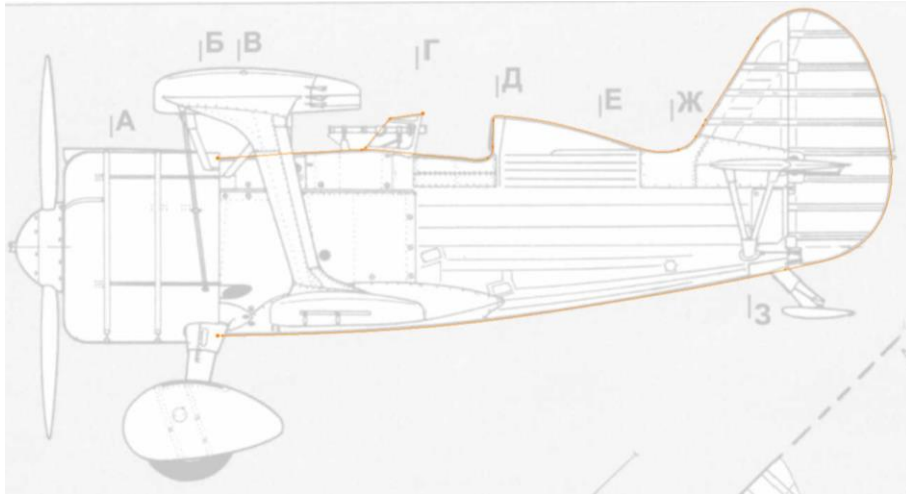


Figura 4-129 Guías superior e inferior del fuselaje sobre el perfil



Figura 4-130 Guías laterales del fuselaje sobre la vista en planta

Para modelar el revestimiento y obtener la geometría de la superficie se emplean principalmente dos multisecciones, la primera abarcará la zona delantera hasta la zona del piloto y la segunda el tramo restante hasta la mitad del estabilizador vertical. Cada multisección empleará las guías correspondientes a la primera mitad o segunda mitad del fuselaje, para facilitar su definición se emplea la operación Split del módulo Generative Shape Design que permite recortar las cuatro guías simultáneamente mediante un plano vertical denominado Separación tramo 1.

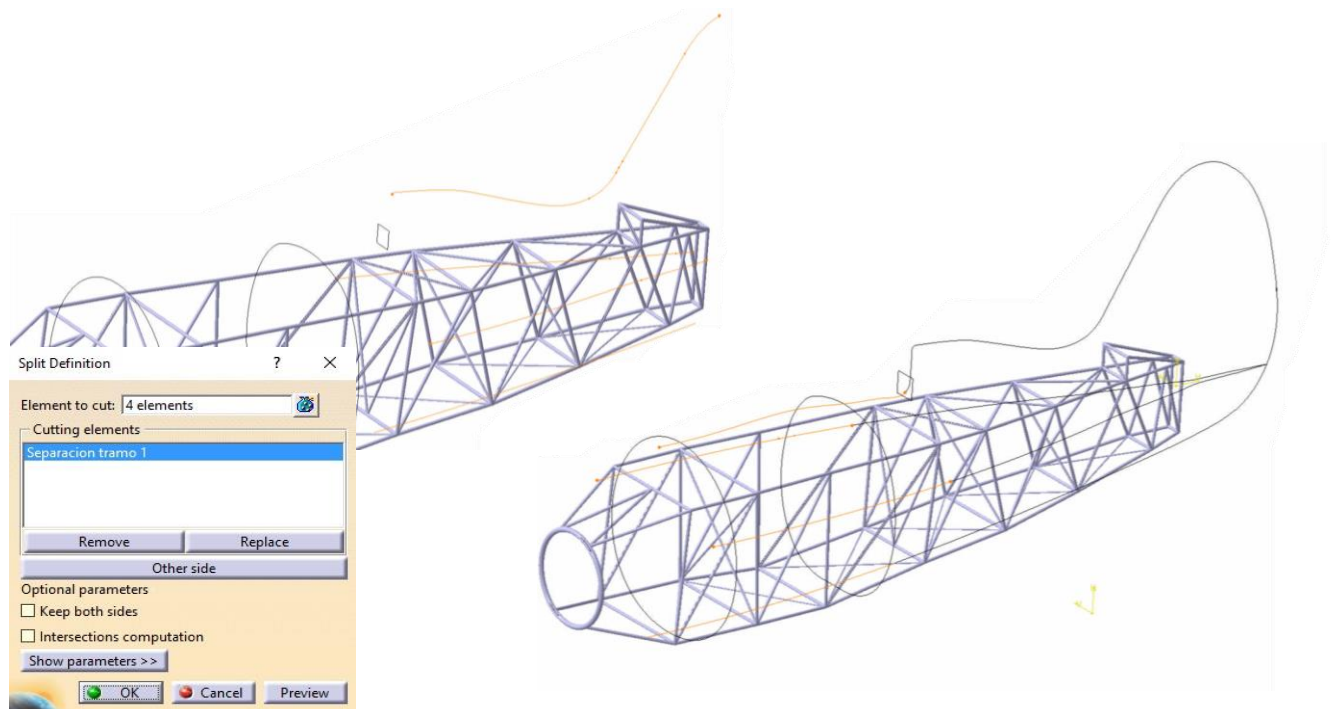


Figura 4-131 Split sobre las guías del fuselaje

La primera superficie emplea los cortes B y Γ de los planos y las guías correspondientes a la primera mitad del fuselaje. La división de las guías mediante la operación Split permite no relimitar ni al inicio ni al final la operación de Multi-Sections Surface pudiendo abarcar en una sola operación la superficie completa sin necesidad de emplear más cortes.

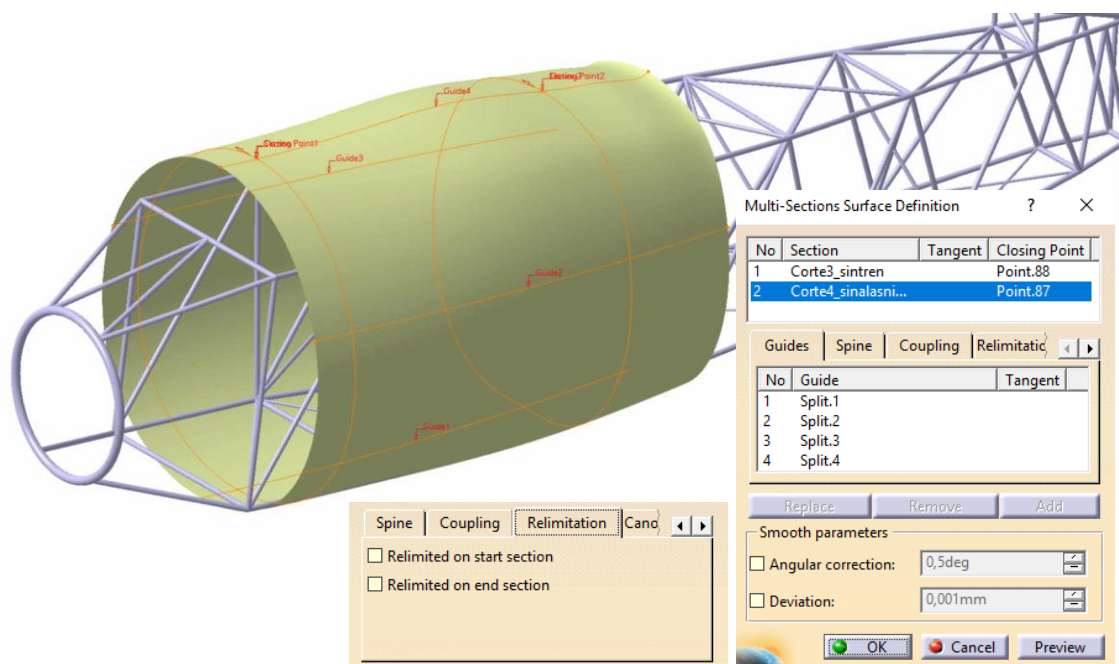


Figura 4-132 Multi-Sections Surface asociado a la primera mitad del fuselaje

La segunda superficie se construye a partir de los cortes Д, Е, Ж y З, en su definición se emplean las guías correspondientes a la segunda mitad del fuselaje. El último corte (З) no se encuentra cerrado ya que no incluye la sección del estabilizador que lo completa. Para poder emplear la geometría del corte se ensambla el estabilizador vertical y se realiza la intersección del mismo con el plano en el que se encuentra el corte З generando la sección completa. Una vez definidas todas las secciones en sus planos correspondientes a lo largo del fuselaje se realiza la multisección.

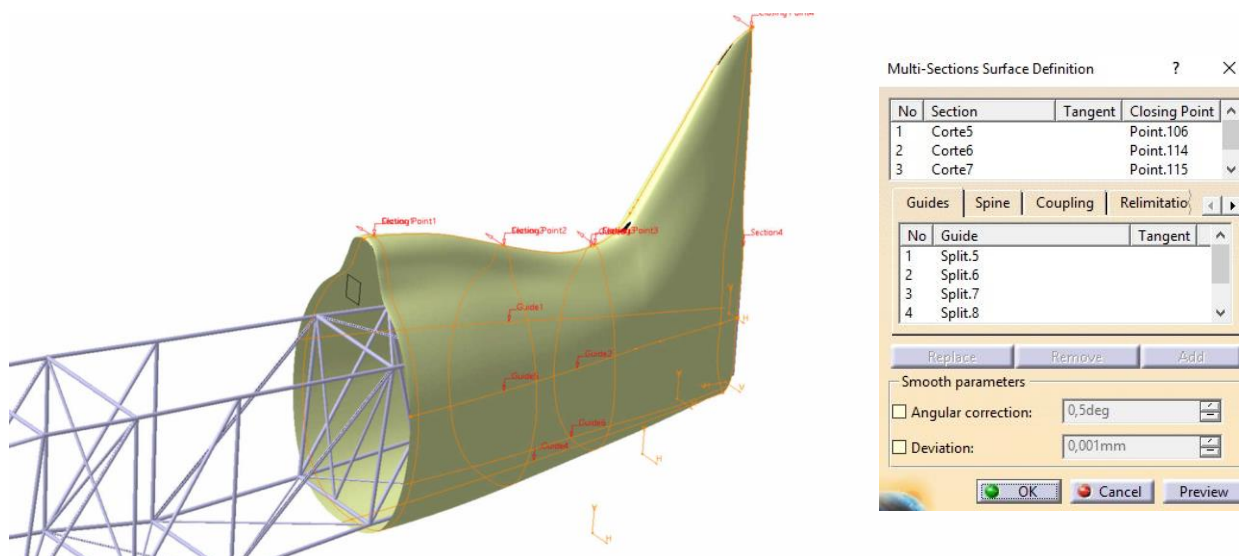


Figura 4-133 Multi-Sections Surface asociado a la segunda mitad del fuselaje

Para cerrar la zona entre la superficie primera y última se hace uso de una multisección extra seleccionando el perímetro de cada una en el extremo a unir.

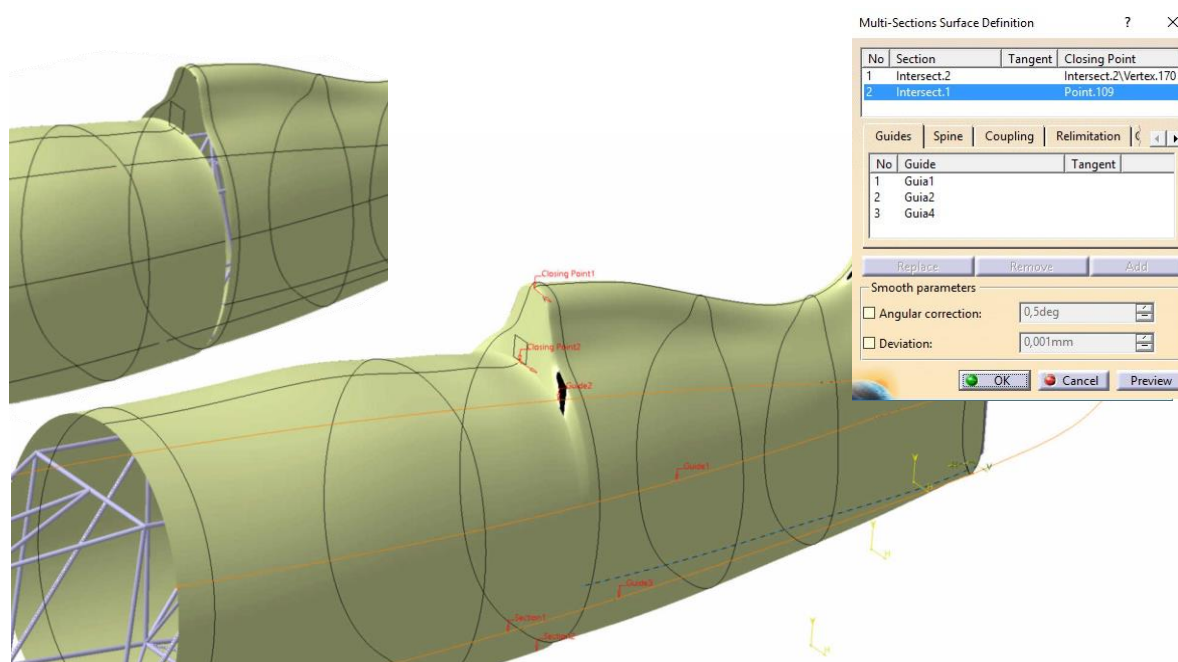


Figura 4-134 Multi-Sections Surface asociado a la zona central del fuselaje

Después de definir la superficie del fuselaje es necesario asignarle espesor para conformar el revestimiento. En el módulo Part Design se asignará a las superficies un espesor de 4 mm mediante la operación ThickSurface. La evolución y el resultado son los siguientes.

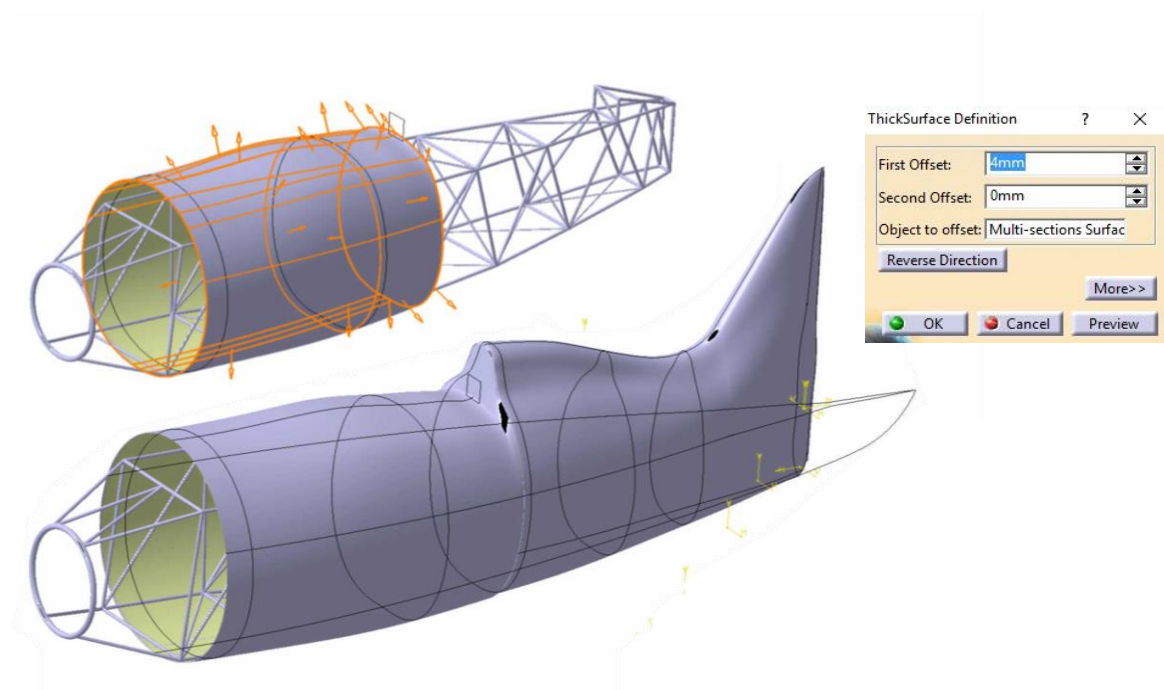


Figura 4-135 ThickSurface sobre las superficies definidas

Situando el sólido generado sobre los planos de referencia se aprecia la similitud conseguida, se muestra la vista en planta superior y una vista en perspectiva de ello a continuación:

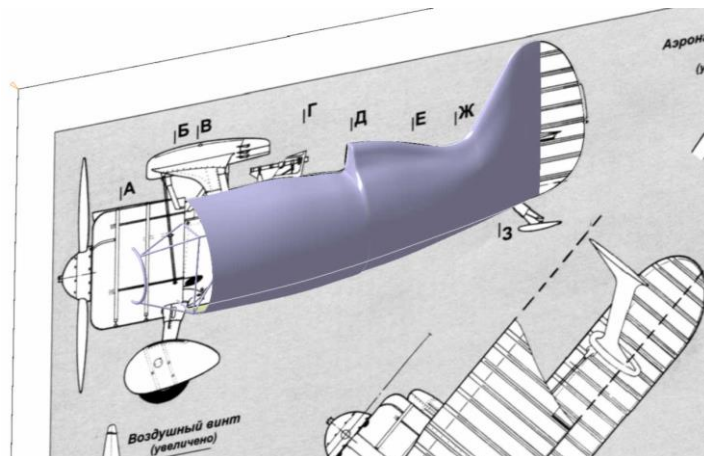


Figura 4-136 Revestimiento sobre el perfil original

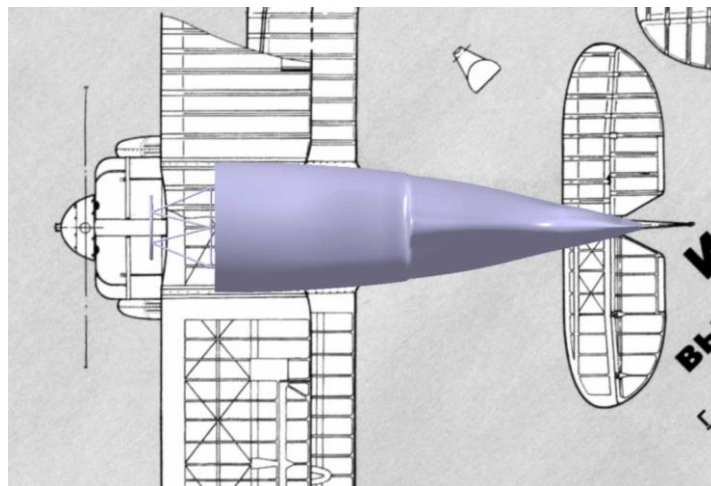


Figura 4-137 Revestimiento sobre la vista en planta original



Una vez definido el cuerpo principal del fuselaje se define la superficie bajo la cual se alojará el motor. El perfil del capó o carenado se define sobre el plano trazando un Sketch con la silueta superior. Con Revolute se genera la superficie tras definir el eje de giro, mediante Thickness se aplica el espesor correspondiente.

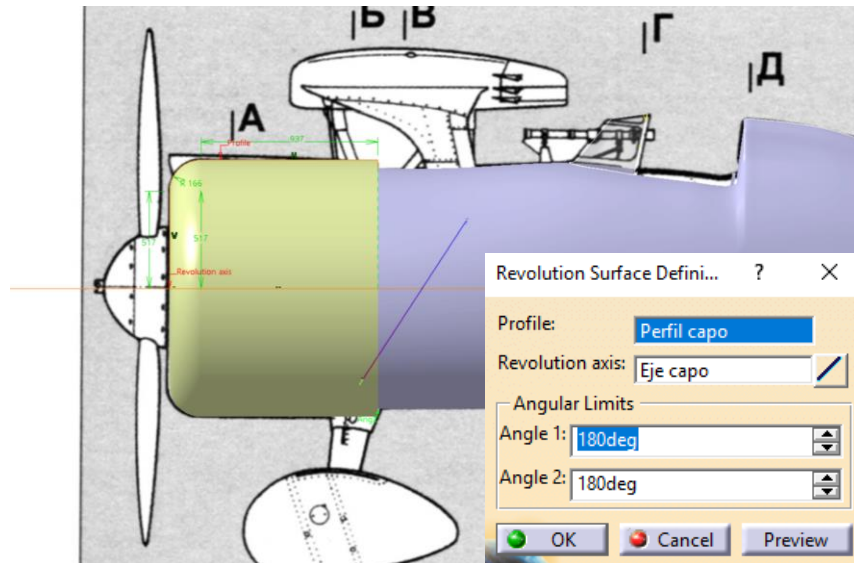


Figura 4-138 Revolution Surface sobre el capó

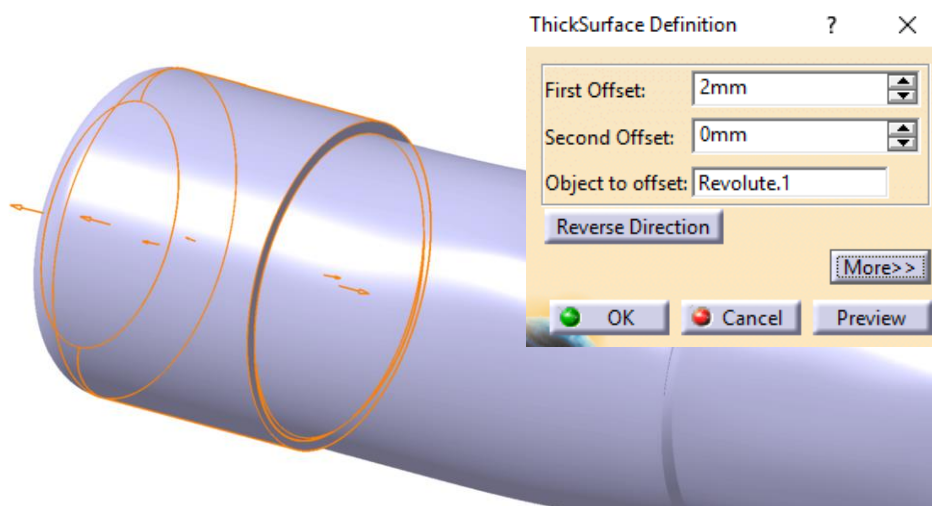


Figura 4-139 ThicknessSurface sobre el capó

Por último, se realiza mediante Pocket y Rectangular Pattern la geometría final del carenado del motor.

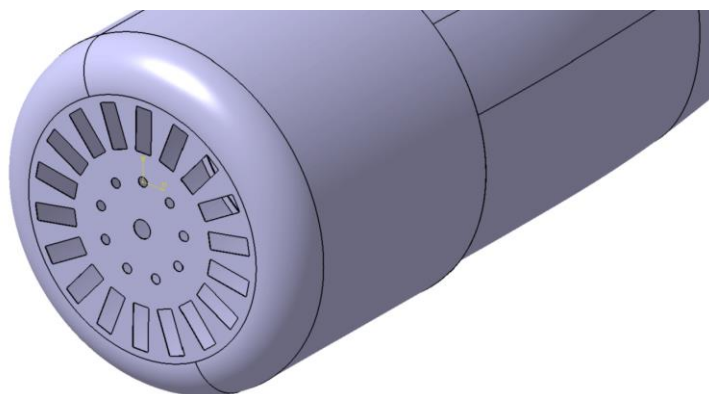


Figura 4-140 Detalle de la geometría frontal

El habitáculo del piloto se realiza mediante un Pocket sobre la superficie del fuselaje. Las medidas de la cabina se tomarán nuevamente sobre los planos, modificando en Properties la transparencia de nuestro sólido para facilitar la visualización del plano. Se generarán dos sketches para diferenciar la posición en la que el piloto se encuentra a bordo y la posición más amplia que facilita la entrada del piloto.

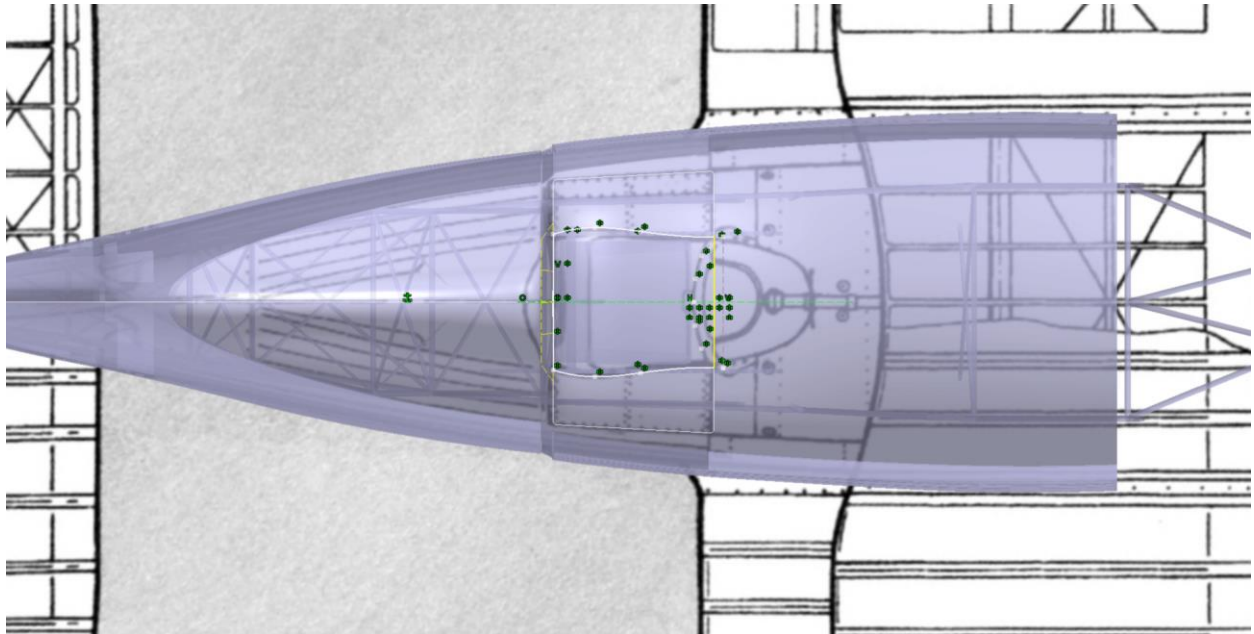


Figura 4-141 Sketch reducido sobre el plano del habitáculo del piloto

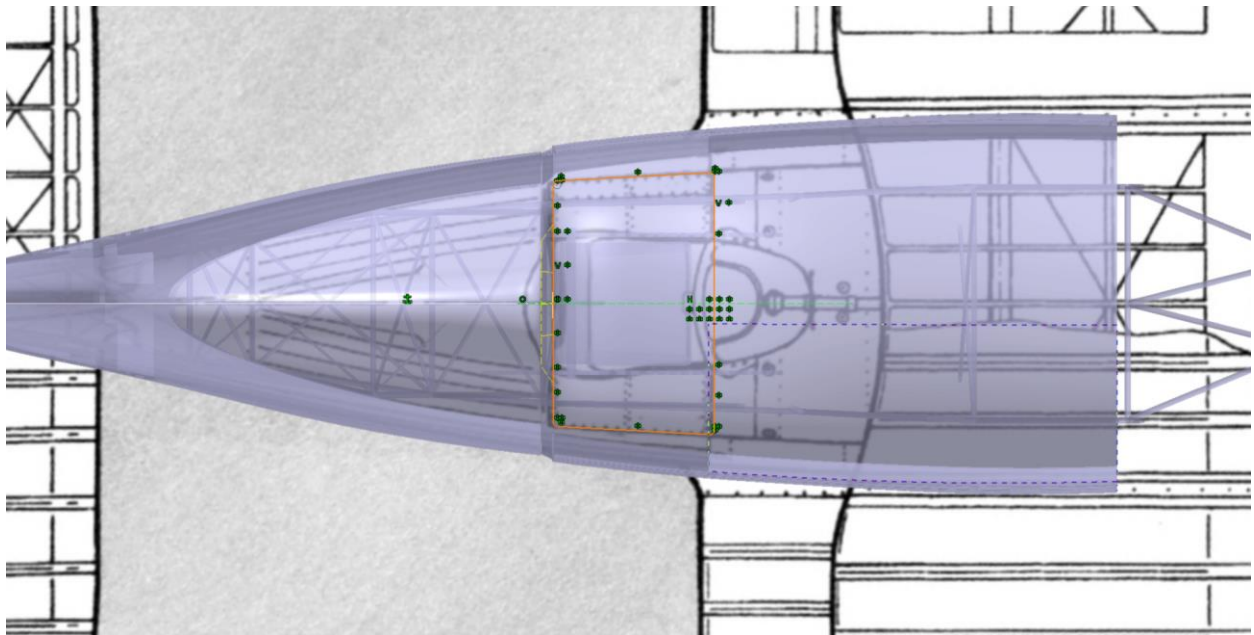


Figura 4-142 Sketch ampliado sobre el plano del habitáculo del piloto

El parabrisas de la cabina se modela mediante Multi-Sections Surface, serán necesarias dos secciones verticales y una guía sobre la superficie del fuselaje. La guía se traza sobre el plano y se proyecta mediante Projection sobre el revestimiento. Finalmente, mediante Symmetry y Thickness Surface se obtiene el cristal del parabrisas.

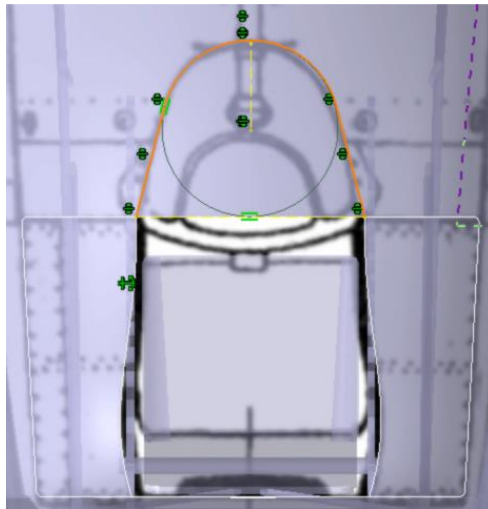


Figura 4-143 Sketch del perímetro del cristal de la cabina

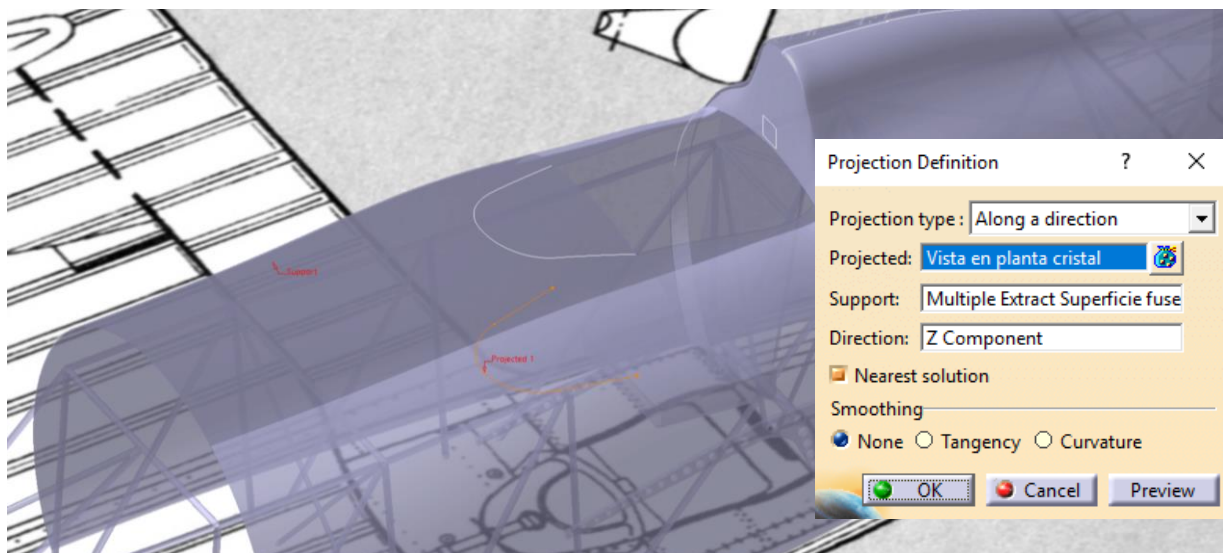


Figura 4-144 Proyección sobre el fuselaje del perímetro del cristal

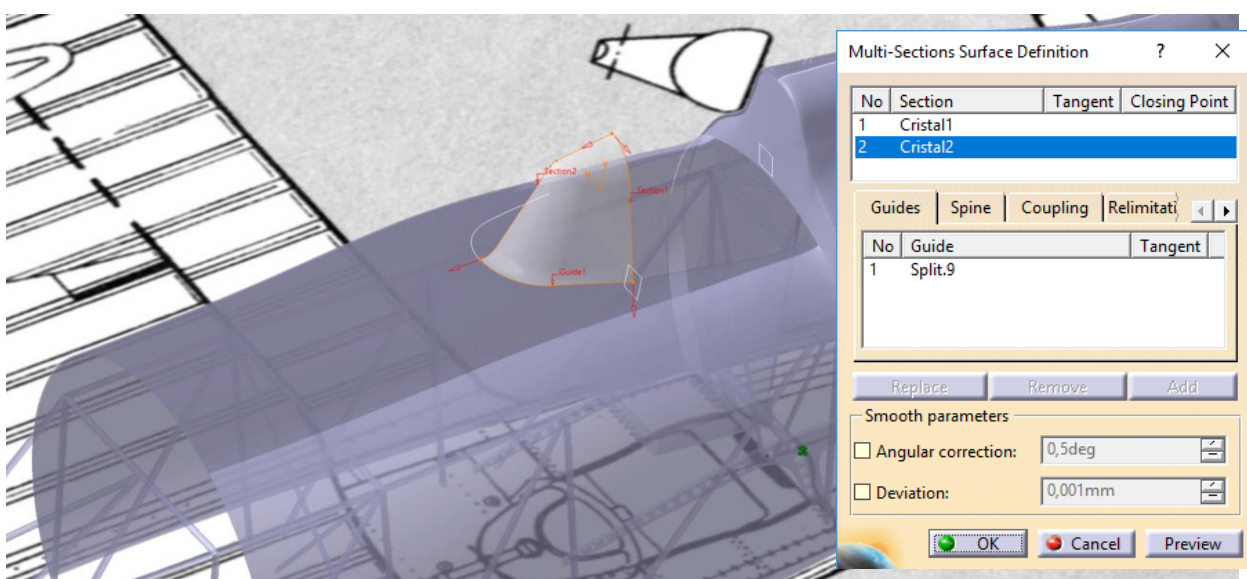


Figura 4-145 Multi-Sections Surface del cristal de la cabina



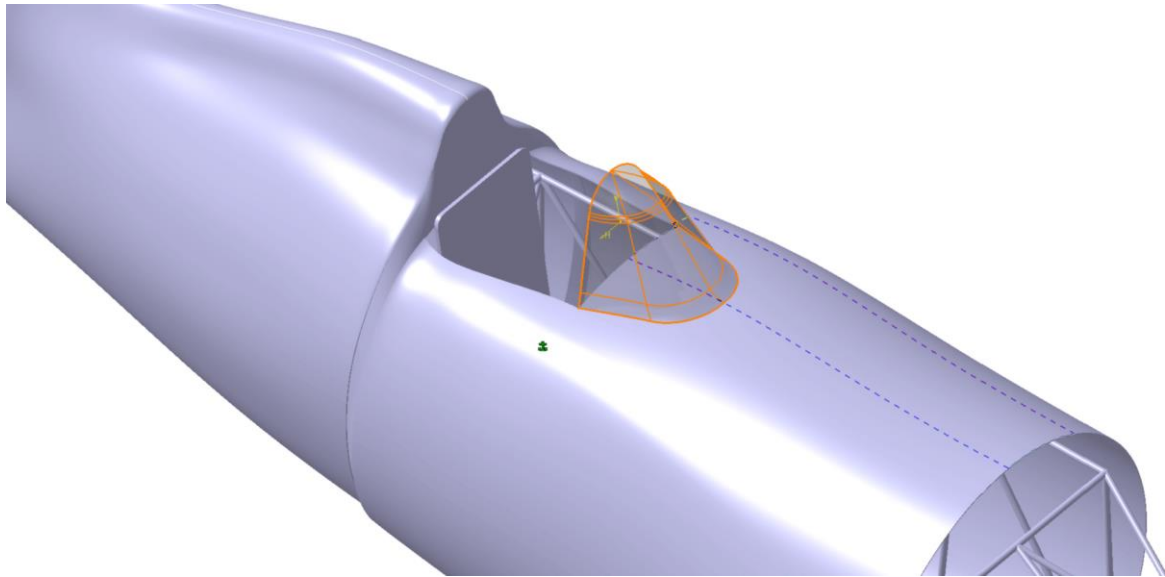


Figura 4-146 Geometría final del cristal de la cabina

### 4.3.3 Body 3. Asiento del piloto

La zona dedicada al piloto, la cabina, se muestra entre los planos definidos por los cortes  $\Gamma$  y  $\Delta$ .

Para diseñar el asiento se trabaja sobre el sketch de la sección  $\Delta$  de forma que la posición del respaldo se encuentre centrada. El segundo plano de referencia ofrece un corte del fuselaje que muestra una vista frontal del asiento del piloto, este corte y la vista correspondiente al perfil del asiento permitirán definir la geometría del mismo.

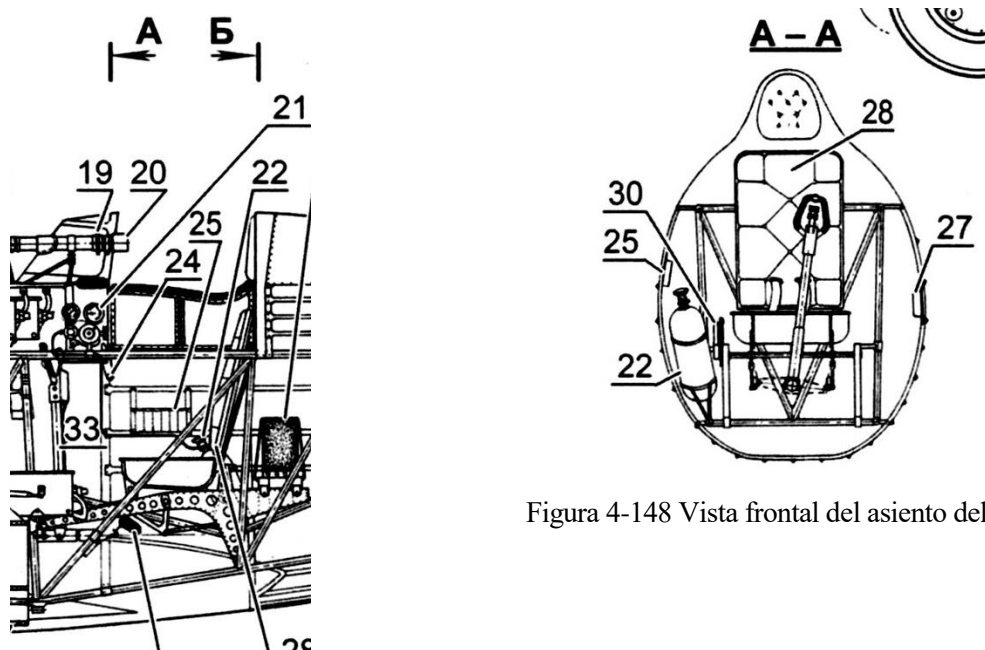


Figura 4-147 Perfil del asiento del piloto

Figura 4-148 Vista frontal del asiento del piloto

El respaldo del piloto se encuentra inclinado. Midiendo sobre el plano y realizando estimaciones se concreta que la inclinación es de 10 grados, el espesor total del respaldo será de 1.7 cm y el de la base del asiento de 1 cm. La base principal del asiento definida mediante Pads se muestra en las siguientes imágenes.

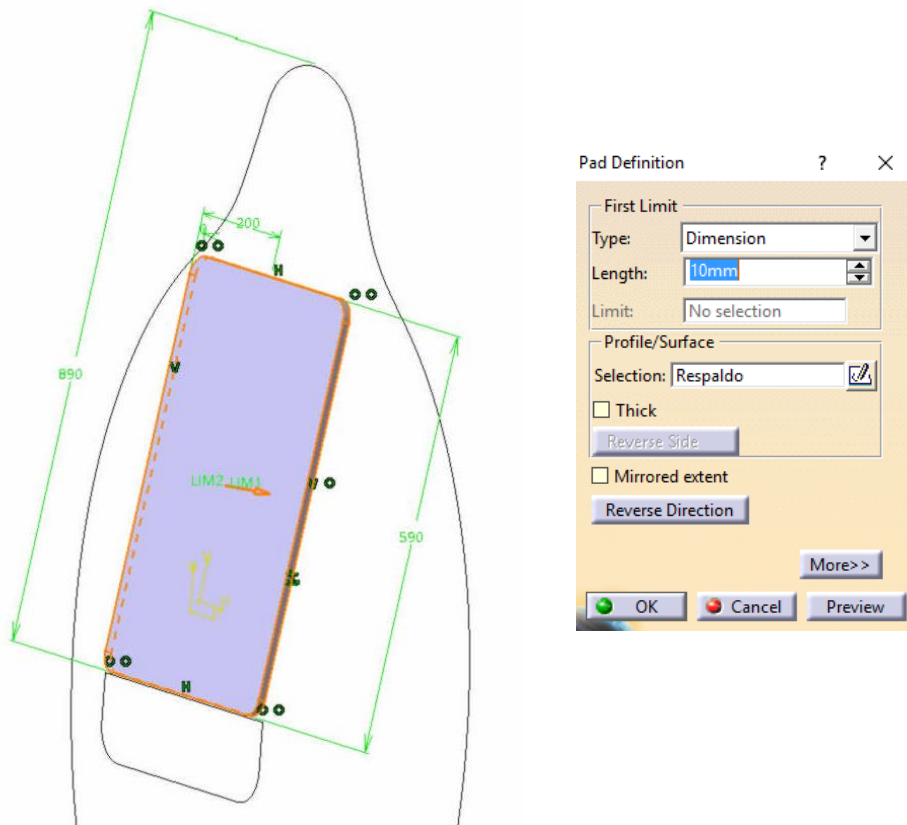


Figura 4-149 Pad del respaldo del piloto

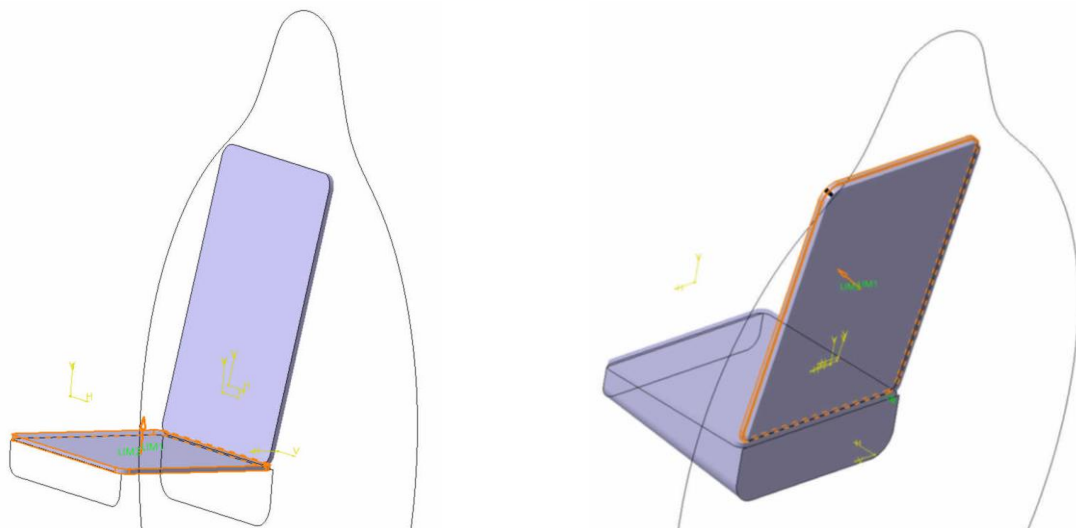


Figura 4-150 Modelado del asiento

La base completa del asiento se modela mediante Multi-Sections Solid tratando de asemejarla al perfil de la figura 4-145.

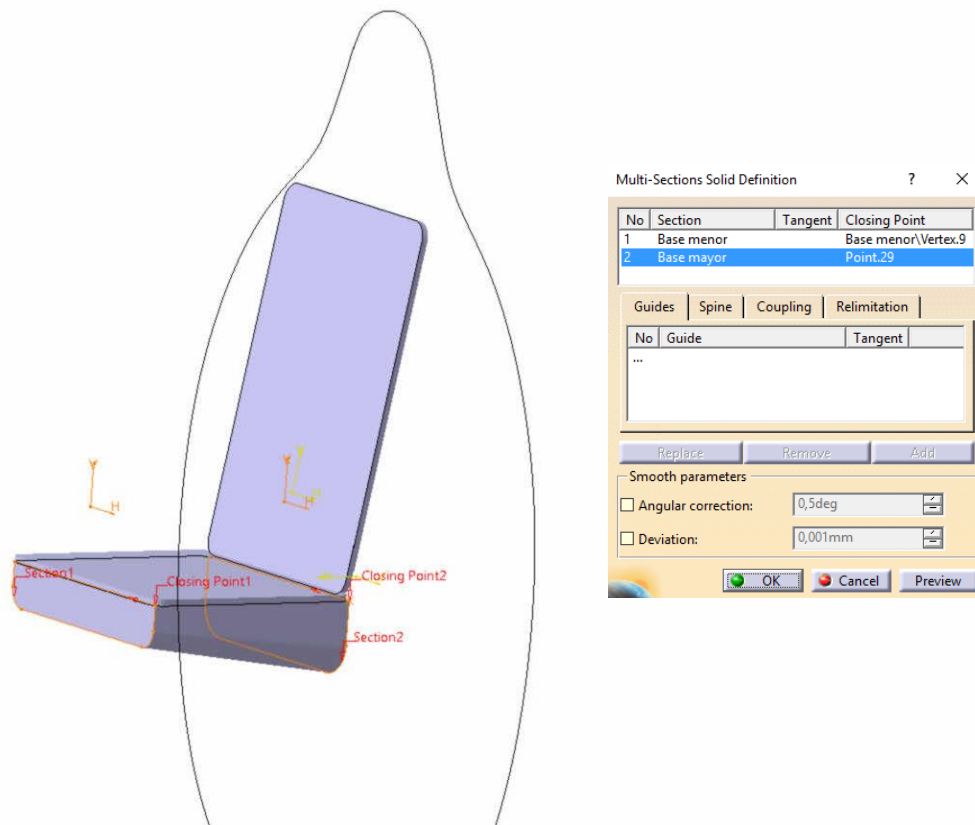


Figura 4-151 Multi-Sections Solid sobre la base del asiento

Los soportes del asiento se modelan sobre la estructura del fuselaje. Se realiza el diseño completo de un soporte y después se aplica simetría para generar el otro. Los planos no muestran la geometría de este elemento con suficiente calidad, por esta razón el modelado se apoyará en las proporciones mostradas en la vista disponible y en una ilustración encontrada en el manual soviético.

La ilustración, aunque tampoco puede utilizarse para obtener medidas a partir de ella, nos ofrece una perspectiva muy rica de la cabina.

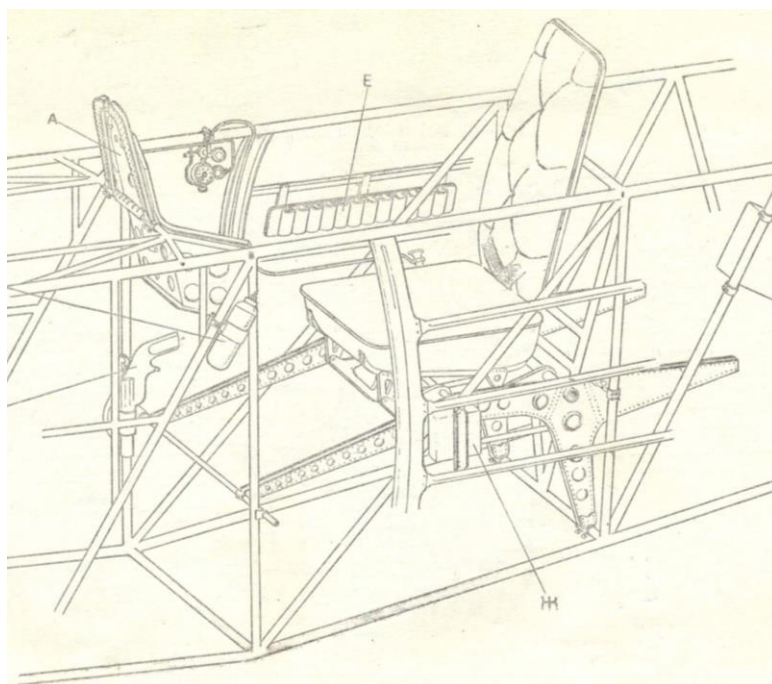


Figura 4-152 Ilustración de la cabina



## 4.4 Tren de aterrizaje

El biplano I-152, dependiendo de la zona de combate donde operara, empleaba un tren fijo o con skis instalados para la nieve. En este trabajo se modelará el tren fijo que se empleó en España.

Las dimensiones del neumático y del carenado del tren se obtienen de los planos. El neumático se modela con Shaft definiendo los ejes de giro correspondientes. El carenado se obtiene mediante Sweep asegurando el espacio que necesita el neumático para girar. Para modelar la superficie de unión del tren de aterrizaje es necesario posicionarlo correctamente respecto al fuselaje en el módulo Assembly Design de forma que podamos adaptar la multisección al carenado del motor

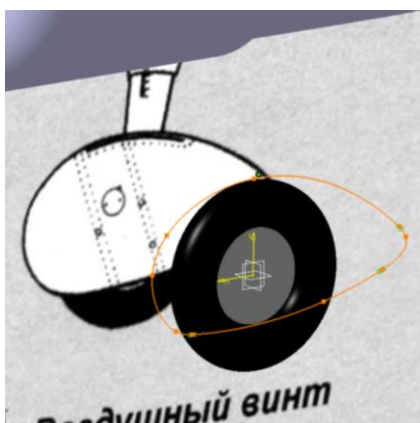


Figura 4-156 Guías del carenado del tren

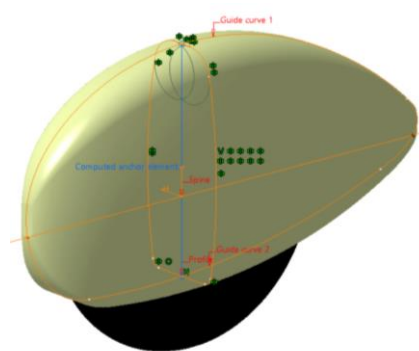


Figura 4-157 Sweep aplicado al carenado del tren

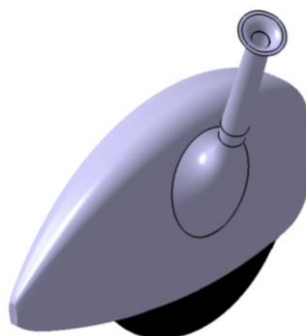


Figura 4-158 Unión del tren al revestimiento del fuselaje

Sobre la estructura tubular del fuselaje se modelan las dos barras que fijan el tren de aterrizaje con su ángulo de separación correspondiente.

La ilustración del manual que ofrece la geometría se expone a continuación, así como el resultado final y un detalle de la unión al fuselaje modelada (Fig 4-159).



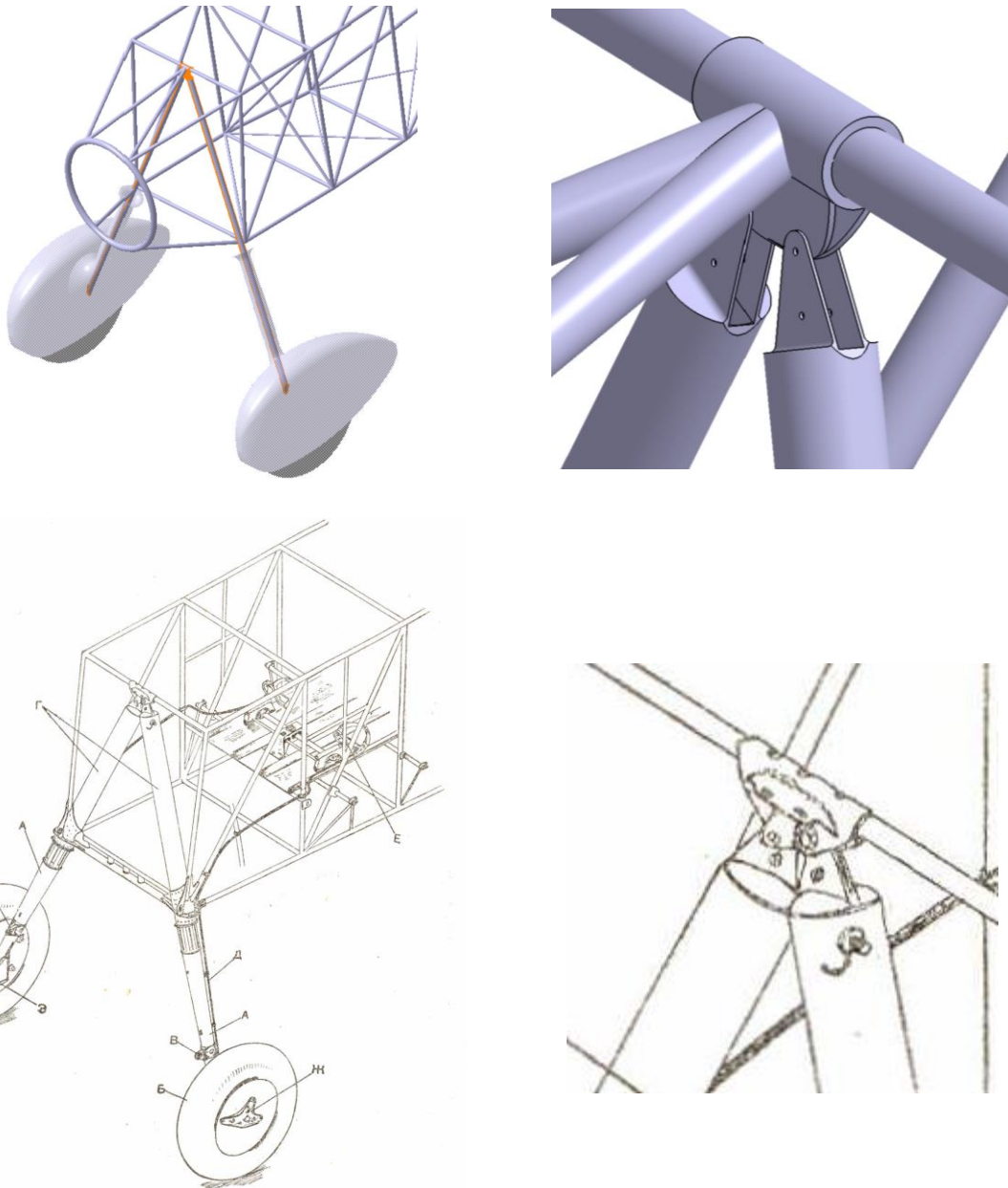


Figura 4-159 Comparación de la geometría obtenida con las ilustraciones de partida

## 4.5 Hélice

La hélice del Polikarpov I-152 es bipala y muestra torsión. Los planos base ofrecen una vista completa de las palas en la que se aprecian distintos los perfiles desde la raíz hasta la punta (ver fig. 4-160). Dichos perfiles serán empleados para generar la multisección que definirá al sólido.



Figura 4-160 Detalle de la hélice



Una de las palas se realizará mediante una multisección apoyada en los cortes mostrados en la figura 4-160, la otra se obtendrá mediante simetría.

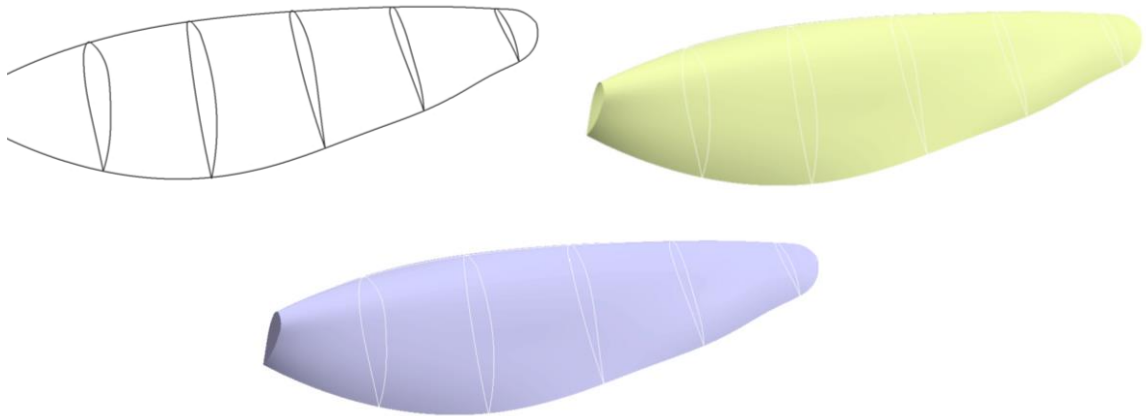


Figura 4-161 Modelado de la primera pala

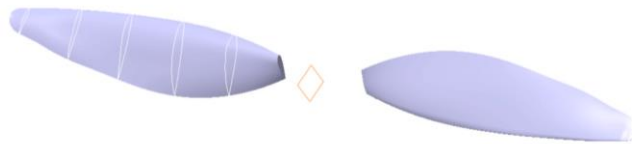


Figura 4-162 Obtención de la segunda pala mediante simetría

El buje de la hélice tratará de asemejarse a la vista facilitada en los planos y a fotografías recopiladas.

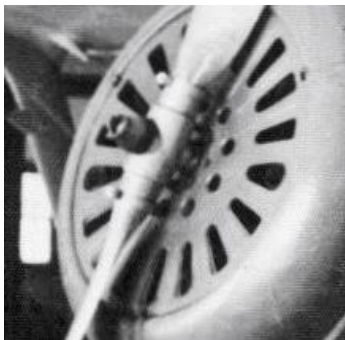


Figura 4-163 Detalle del buje en una fotografía

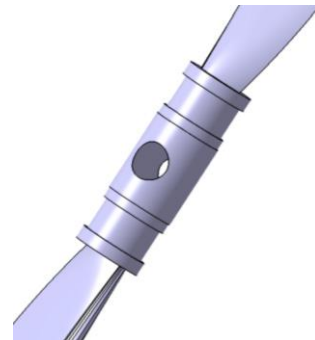


Figura 4-164 Bujе modelado



## 5 RESULTADO FINAL

En este capítulo se ensamblan mediante el módulo Assembly Design todas las piezas modeladas así como los elementos de unión necesarios entre ellas. Una vez generado el producto final se aplican los materiales empleados y stickers mediante el módulo Photo Studio para tratar de conseguir un modelo más realista con el renderizado. Los materiales más empleados son el acero y el duraluminio (aleación), mediante la herramienta Apply Material se aplican en las secciones correspondientes.

Mediante el módulo Drafting se han generado cuatro vistas del modelo final dispuestas según el plano original (ver fig. 3-14) con algunas de las medidas principales, el resultado el siguiente:

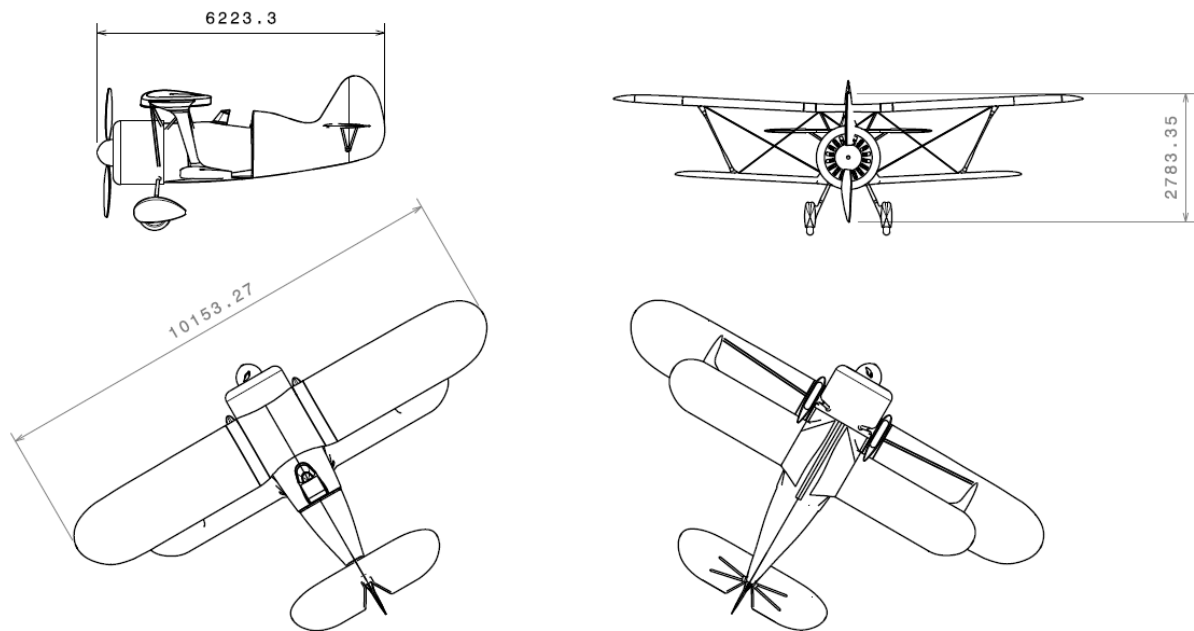


Figura 5-1 Planos del modelo Polikarpov I-152

Para comparar fácilmente el resultado se superpone el producto final sobre el plano escalado mediante Sketch Tracer posicionando el modelo según las distintas vistas que ofrece el plano (Fig. 5-2, 5-3, 5-4).

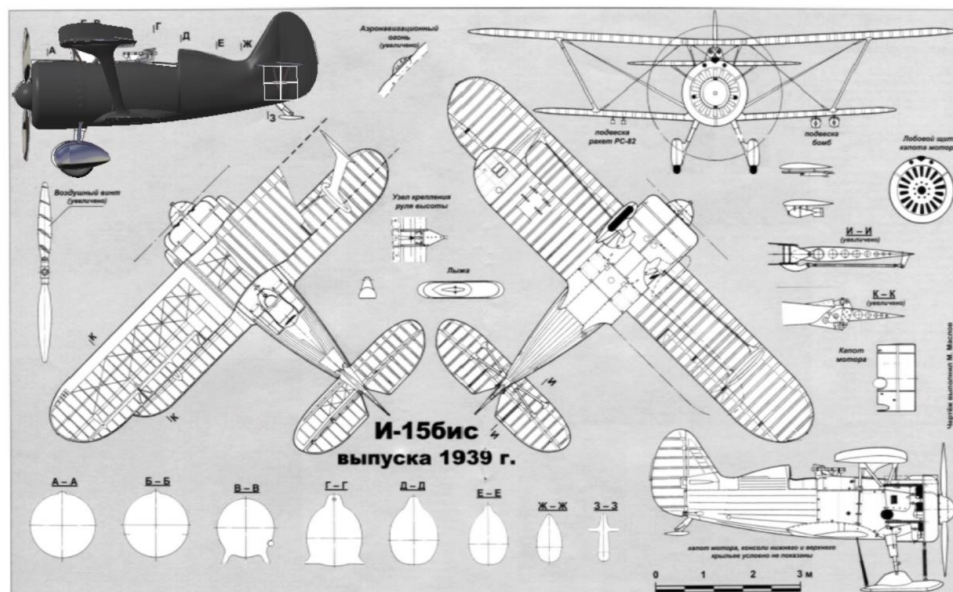


Figura 5-2 Perfil del modelo sobre el plano

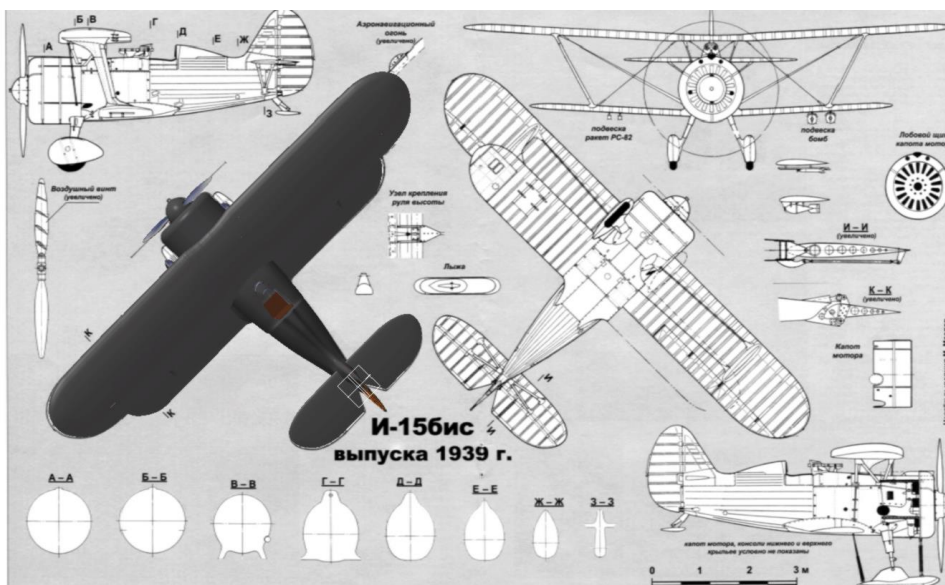


Figura 5-3 Alzado superior del modelo sobre el plano

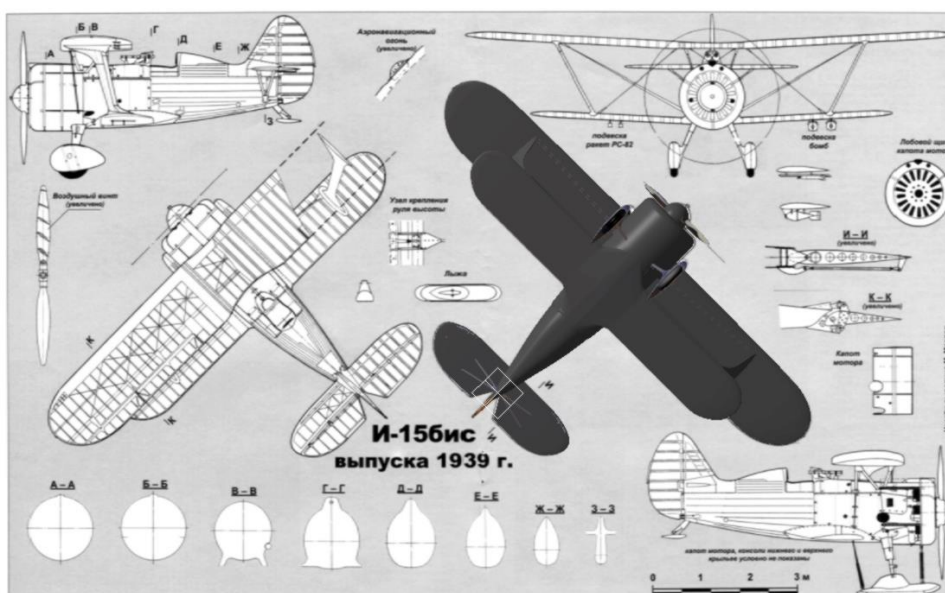


Figura 5-4 Alzado inferior del modelo sobre el plano

El Polikarpov I-152 participó en distintos conflictos bélicos detallados en el capítulo 3 para cada uno de los cuales se empleó una pintura característica. A partir del modelo neutro de la figura 5-5 se aplicarán diferentes stickers representativos.



Figura 5-5 Vista general del modelo Polikarpov I-152

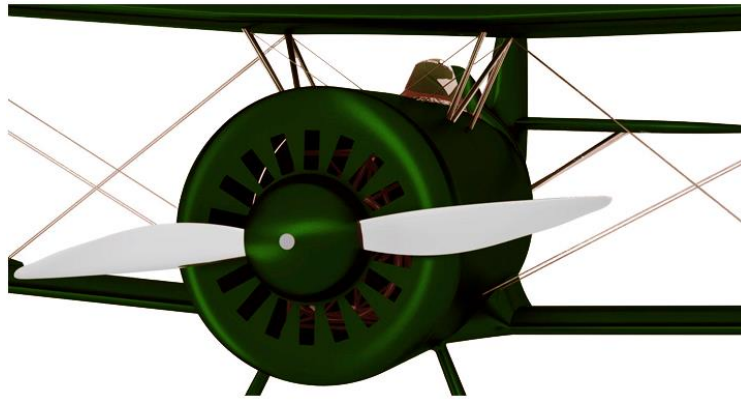


Figura 5-6 Detalle del modelo Polikarpov I-152

Con el fin de facilitar la comparación y valoración del resultado final, se muestran en las siguientes imágenes capturas realizadas mediante Photo Studio del modelo renderizado. Las fotografías muestran al Polikarpov I-152 estacionado en tierra y en vuelo respectivamente.



Figura 5-7 Fotografía del Polikarpov I-152 en el hangar de Reus (España)



Figura 5-8 Modelo Polikarpov I-152 en hangar





Figura 5-9 Fotografía del Polikarpov I-152 en vuelo

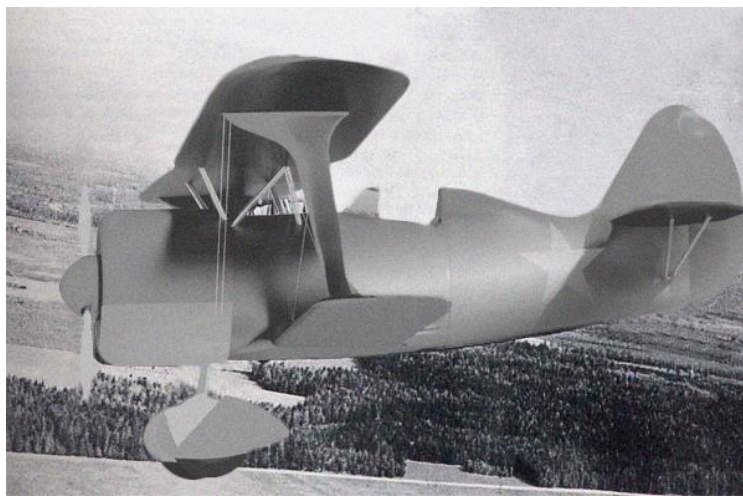


Figura 5-10 Modelo Polikarpov I-152 en vuelo

Las figuras anteriores muestran vistas frontales y de perfil de la aeronave, el resultado contemplado desde la cola se ofrece en las siguientes figuras.

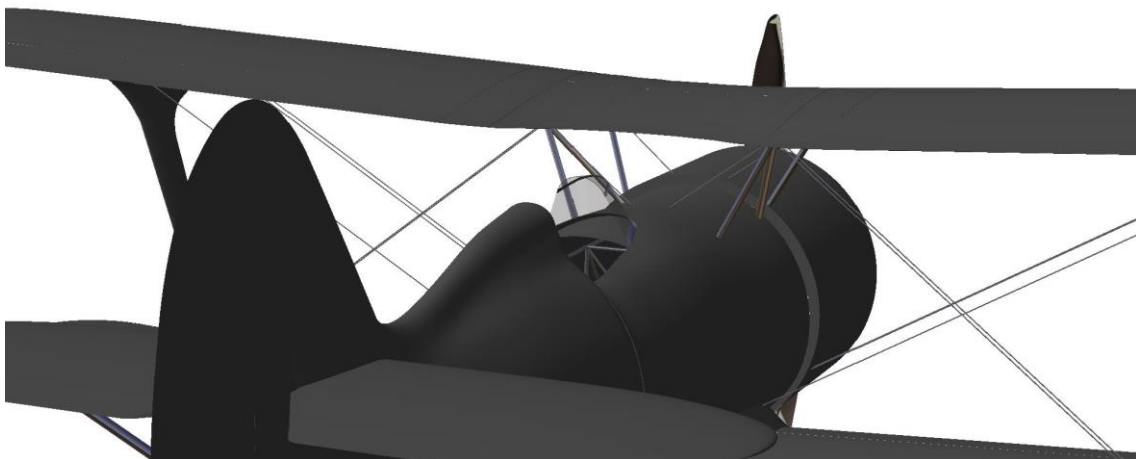


Figura 5-11 Vista desde la cola del modelo Polikarpov I-152



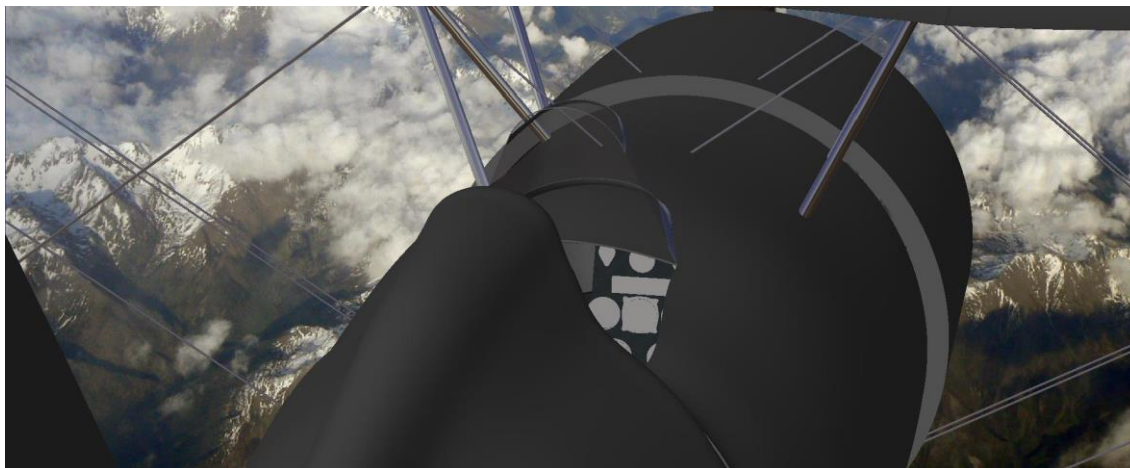


Figura 5-12 Detalle del modelo Polikarpov I-152

Finalmente, mediante la herramienta Bill of Material es posible cuantificar el número de elementos modelados que componen el producto final. Un total de 15 elementos (Parts) conforman el avión completo:

Recapitulation of: Product1		
Different parts: 15		
Total parts: 15		
Quantity	Part Number	
1	Ala superior derecha	
1	Ala_inferior_derecha	
1	Fuselaje	
1	Palas	
1	Rueda1	
1	VTP	
1	Zona central	

Figura 5-13 Bill of Material

Con la herramienta Measure Inertia también pueden compararse los resultados obtenidos con los datos del modelo original. Realizando la medición de la superficie alar se obtiene un área de 25,84m<sup>2</sup> frente a los 22,3m<sup>2</sup> que indica la literatura. La masa obtenida de la aeronave es de 1582,356kg, superior a la que muestran los manuales (peso en vacío de 1310kg).

Como se indicó en el apartado dedicado al fuselaje, la estructura tubular de acero revestido con duraluminio se supuso maciza para simplificar las uniones, esta variación así como otras estimaciones realizadas a lo largo del trabajo en los elementos a falta de medidas reales dificultan la obtención de resultados más cercanos a los propios del modelo original.

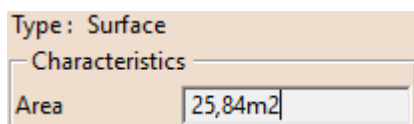


Figura 5-14 Superficie alar del modelo

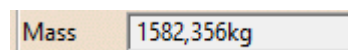


Figura 5-15 Masa final del modelo



## 6 CONCLUSIONES

---

El alcance de este proyecto ha sido afrontar el diseño del Polikarpov I-152. La elección de este modelo concreto, basado inicialmente en el hecho de ser uno de los últimos aviones biplanos, me ha permitido conocer el trabajo y la influencia de uno de los ingenieros aeronáuticos más destacados de la primera parte del siglo XX, N.N. Polikarpov.

El diseño completo de una aeronave exige abarcar de forma concurrente estudios aerodinámicos, estructurales, de estabilidad entre otros, sin embargo los objetivos marcados al comienzo del trabajo se centraron en el diseño geométrico de la aeronave. Entre los objetivos principales se encuentran el modelado de los elementos más relevantes que forman el caza y la comparación del modelo renderizado con la aeronave original. Aunque dichos objetivos han sido alcanzados, el resultado final podría completarse si se retomara el proyecto en un futuro.

Este trabajo conlleva un uso intensivo de distintos módulos de Catia, un software fundamental en el ámbito aeronáutico. La recreación del modelo elegido me ha permitido profundizar en módulos previamente conocidos como Part Design, Assembly Design y Drafting, así como conocer y trabajar con los módulos Photo Studio y Sketch Tracer.

El tiempo, como en todo trabajo, ha sido una variable importante en el proyecto. A continuación, se exponen una serie de mejoras enfocadas a completar el modelo.

- Modelado detallado de la cabina del piloto y los mandos de vuelo.
- Modelado de los sistemas, planta motora y la ametralladora frontal.
- Aumentar los grados de libertad de los estabilizadores.
- Generar el relieve del revestimiento del fuselaje.
- Estudio aerodinámico completo de la aeronave.



# REFERENCIAS

- AZAOLA, C., 2019. Cronología de la aviación militar española. En: *Revista de Aeronáutica y Astronáutica*. Madrid: Ministerio de Defensa, no. 883, pp. 412-415. ISSN: 0034-7647
- FERNÁNDEZ, J., LAUREAU, P., ARRAEZ J. y FALCÓ J., 2006. *Polikarpov I-15: Le Guerrier au Nez Camus*. París: Editions TMA. ISBN 2-915205-08-6.
- GIL, F., 2009. Polikarpov I-15 Chato. En: *F. Gil Flyer 2013* [en línea]. [Consulta: mayo 2019] Disponible en: [http://www.i15chato.es/paginas/Polikarpov%20I-15%20Chato\\_fotos\\_1.htm](http://www.i15chato.es/paginas/Polikarpov%20I-15%20Chato_fotos_1.htm)
- 2GM, 2012. Polikarpov I-15 Chaika. En: *Blog 2GM* [en línea]. [Consulta: 14 junio 2019]. Disponible en: <https://www.lasegundaguerra.com/viewtopic.php?t=11140>
- GORDON, E., ZENKIN, V. y TYMOV, V., 1992. *Fighter-Birlane N.N. Polikarpov*. Moscow: Potter-Polygon. ISBN 5-88541-002-X.
- GREY, D., 2017. Vozvrashcheniye istrebitelya Polikarpov I-15 bis N7 "Yelena" chast' 3. En: *Youtube* [en línea]. Publicado el 3 de marzo de 2017 [Consulta: abril 2019] Disponible en: [https://www.youtube.com/watch?v=mSyUB\\_0l774](https://www.youtube.com/watch?v=mSyUB_0l774)
- IVANOV, V. y MOROZOVA, A., 2017. N.N. Polikarpov: contribution to science and engineering development. En: *Bulletin of Bryansk State Technical University*. Bryansk: Bryansk State Technical University. vol 55, no 2, pp 6-16. DOI: 10.12737/article\_59353e296fa5e0.45404140.
- KINVILLE, P., 2018. Polikarpov's I-15 and I-15bis biplane fighters. En: *The Soviet Air Forces at War* [en línea]. [Consulta: 1 mayo 2019]. Disponible en: <https://vvsairwar.com/2018/05/05/polikarpovs-i-15-i-15bis-biplane-fighters/>
- LARRAZABAL, JS., 2010. Los I-15 en España. En: *Aeroplano, Revista Histórica de Aeronáutica*. Madrid: Ministerio de Defensa, no 28, pp. 90-103. ISSN: 0212-4556
- LARRAZABAL, JS., 2011. La guerra civil 1936-1939. En: *Aeroplano, Revista Histórica de Aeronáutica*. Madrid: Ministerio de Defensa, no 29, pp. 158-203. ISSN: 0212-4556
- MASLOV, M., 2001. Fighter I-15 "Snub-nosed bully". *Military Historical Magazine*. Moscow: Polygon, supply 1, 53 pp. ISSN 1680-0680.
- MASLOV, M., 2003. *Fighter I-15bis*. Moscow: Russian Aviation Joint-Stock Company (RUSAVIA). ISBN 5-900078-17-5.
- MASLOV, M., 2009. *Stalin's "seagulls". I-15, I-15bis, I-153*. Moscow: Eksmo. ISBN 978-5-699-32232-9.
- MASLOV, M., 2013. *Polikarpov I-15bis*. Moscow: Model-Designer CSCJ Eds.
- MINOBORON, NARKOMATA OBORONT SSSR, 1938. *Aircraft I-15bis technical description. Vol. 1*. Moscow: Military Publishing.
- MINOBORON, NARKOMATA OBORONT SSSR, 1938. *Aircraft I-15bis technical description. Vol. 2*. Moscow: Military Publishing.
- NARAYAN, A., 2018. Import Points, Curves, Lofts from Microsoft Excel. En: *Grabcad* [Consulta: abril 2019] Disponible en: <https://grabcad.com/tutorials/import-points-curves-lofts-from-microsoft-excel>
- PILOTO, SV., 1984. Polikarpov I-15 "Chato". En: *Alas Gloriosas: boletín informativo de la Asociación de Aviadores de la República A.D.A.R.* nº 14, pp 16-18.
- STAPFER, H., 1995. *Polikarpovs Fighters in action Pt.1*. Texas: Squadron/Signal. ISBN 0-89747-343-4
- TORN ROCA, J., 2002. El precio del honor. A mi amigo Ángel Fernández. En: *ICARO. Boletín*

Informativo de la Asociación de Aviadores de la República. Madrid: ADAR, no 73, pp. 3.

UGOLOK NEBA, 2004. Polikarpov I-15bis (I-152). En: Ugolok Neba [en línea]. [Consulta: 1 mayo 2019]. Disponible en: <http://www.airwar.ru/enc/fww2/i15b.html>